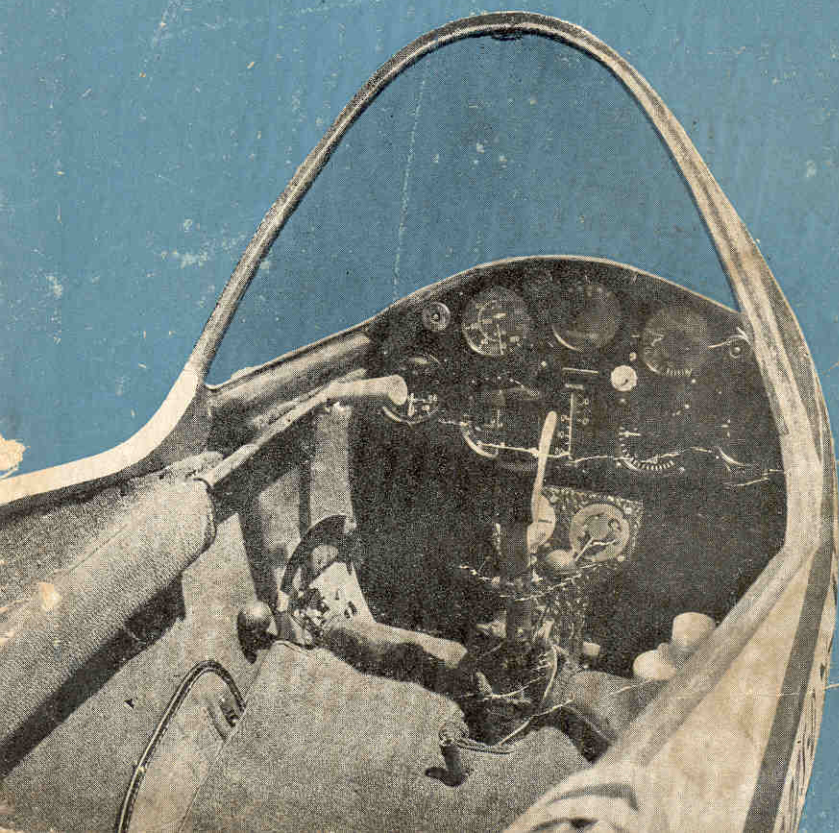


INŽ. JIŘÍ TŮMA



Letecké palubní přístroje

NAŠE
VOJSKO



INŽ. JIŘÍ TŮMA

LETECKÉ PALUBNÍ PŘÍSTROJE

1960

NAŠE VOJSKO - SVAZ PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU

PRAHA

1. ÚVOD

Dostáváš do ruky učebnici, která ti pomůže rozumět leteckým přístrojům, poznat jejich vlastnosti a hlavně tě naučí správnému užívání všech přístrojů, se kterými se ve větroni setkáš.

Úroveň dnešního letectví vyžaduje dokonalé praktické i teoretické znalosti pilotů. To platí nejen o pilotních žácích, ale i o pilotech a instruktorech. Dnes již nelze dovolit, aby kdokoliv usedl do větrone, aniž zná jeho vlastnosti a aniž se dokonale seznámí s přístrojovým vybavením.

Účelem této knihy je umožnit všem příslušníkům aeroklubů, aby mohli dokonale poznat vše, co s leteckými palubními přístroji souvisí.

Obsah knihy podává především základní vědomosti, aniž zbytečně zabíhá do teoretických a matematických rozborů. Tento způsob jsem volil proto, že je jednak k dispozici odborná literatura pro hlubší studium a jednak účelem knihy není školit konstruktéry a opraváře přístrojů, ale naučit uživatele (piloty) rozumět přístrojům a umět jich používat v praxi.

Tato kniha je jednou ze šesti učebnic a nesmí tedy vyčerpat veškerý volný čas a trpělivost žáků.

Rekl jsem již, že kniha je určena především žákům. Má umožnit nejen samostatné studium, ale i studium před zkouškami jako doplněk přednášek teoretických kursů. Vydání učebnice v celostátním měřítku umožní sjednotit učební látku ve všech aeroklubech.

Všechny stati knihy jsou rozděleny na dva stupně: základní a pokračovací. Text základního studia slouží nováčkům a žákům a je tištěn normálním písmem. Pasáže určené pilotům, instruktorům a učitelům teorie jsou odlišeny jiným druhem písma. Jednotlivé odstavce základního studia (při „přeskakování“ doplňkového studia) na sebe navazují.

Text základního studia vychází z předpokladu, že znalosti žáků jsou minimální. To vedlo mnohdy k zjednodušování a popularizování některých pouček. Zjednodušování pro názornost vedlo někdy až k určitým nepřesnostem. Například v kapitole „Kompasy“ při vysvětlování chyb údaje kompasu při zrychlovaném nebo zpomaleném letu, nebo chyb údaje v zatáčce, muselo být v obrázcích užito kompasové růžice dvakrát zrcadlově převrácené proti skutečné rů-

Kapitoly 1. — 14. a 16. — 18. zpracoval inž. Jiří Tůma. Kapitoly 15. připravil Bohumil Langer. Na kapitole 5. spolupracovala inž. Olga Krulišová. Většinu obrázků nakreslili inž. C. Jaroslav Molík a inž. C. Eva Zezuláková. Fotografie připravil Vladimír Hála.

žici, aby byly zachovány „normální“ vzájemné polohy základních směrů (N, E, S a W). Za zbytečné jsem pokládal dále zcela přesné definování precesního pohybu setrvačníku v kapitole „Zatáčkoměry“.

Všeobecně jsem se vyhnul velmi podrobným popisům konstrukce jednotlivých přístrojů. Není totiž účelem znát do posledních detailů všechny konstrukce přístrojů. Nedodržení této zásady by také znamenalo popsat všechny existující přístroje, protože v technických kabinetech aeroklubů jsou k dispozici přístroje všech možných (hlavně starších) typů, ale v letadlech se naproti tomu používá přístrojů novějších, které ke studiu (na rozebrání nebo na řezu) k dispozici nejsou.

Zůstává tedy na učitelích a instruktorech, aby se sami naučili rozumět těm přístrojům, které v kabinetě mají. K tomu jim poslouží odborná literatura.

Odvození rovnic Venturiho trubice v kapitole „Rychloměry“ je uvedeno proto, že je zapotřebí při vysvětlení speciální Venturiho trubice variometru celkové energie (Tevaru) v kapitole „Variometry“.

Zvláštní kapitolu tvoří „Barografy“, přestože patří do skupiny výškoměrů, protože zacházení s barografy patří ke znalostem každého plachtaře, i když vlastní vyhodnocování záznamu z letu provádí sportovní komisař.

Samostatná kapitola je věnována dýchačům, jejich užití a obsluze.

Jako samostatná kapitola jsou zařazeny „Přístroje pro kontrolu chodu motoru“, protože každý plachtař přijde při výcviku do styku s motorovým letadlem a musí tedy mít alespoň základní vědomosti o jeho přístrojovém vybavení.

Kapitola „Radiostanice“, která měla být v této knize původně zařazena, byla vypuštěna, protože v aeroklubech není k dispozici vhodná radiostanice. Nemělo by smysl popisovat radiostanici zastaralou a naproti tomu radiostanici, která je dosud ve vývoji. Veškerá problematika radiostanic a jejich provozu, jakož i právní stránky užití radiostanic by si kromě toho vyžádaly neúměrný počet stran vzhledem k ostatním probíraným přístrojům (kapitolám knihy).

Všeobecné znalosti z tohoto oboru elektrotechniky pro zájemce o provoz radiostanice a o podmínky, jak získat oprávnění užívání radiostanice, vydá lektorská skupina při Krajském aeroklubu Praha-město jako zvláštní brožurku.

V závěru každé kapitoly jsou kontrolní otázky (nejsou to otázky ke zkouškám).

Doufám, že tato kniha pomůže ke snadnějšímu studiu teorie a k odstranění nechuti ke všemu, co s „teorií“ souvisí. Kniha je však jen pomůckou – hlavním činitelem při studiu je chuť a snaha se něčemu naučit.

2. ROZDĚLENÍ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ

V této kapitole se přehledně seznámíme s rozdělením leteckých palubních přístrojů. Přehled nám umožní udělat si názor na rozsáhlost přístrojového vybavení dnešních letadel. I když se ve větro-ních prakticky užívá jen jedné skupiny přístrojů, tj. přístrojů leto-vých, je přehled nutný pro všeobecnou znalost skupin ostatních, se kterými se mnozí dříve nebo později setkají.

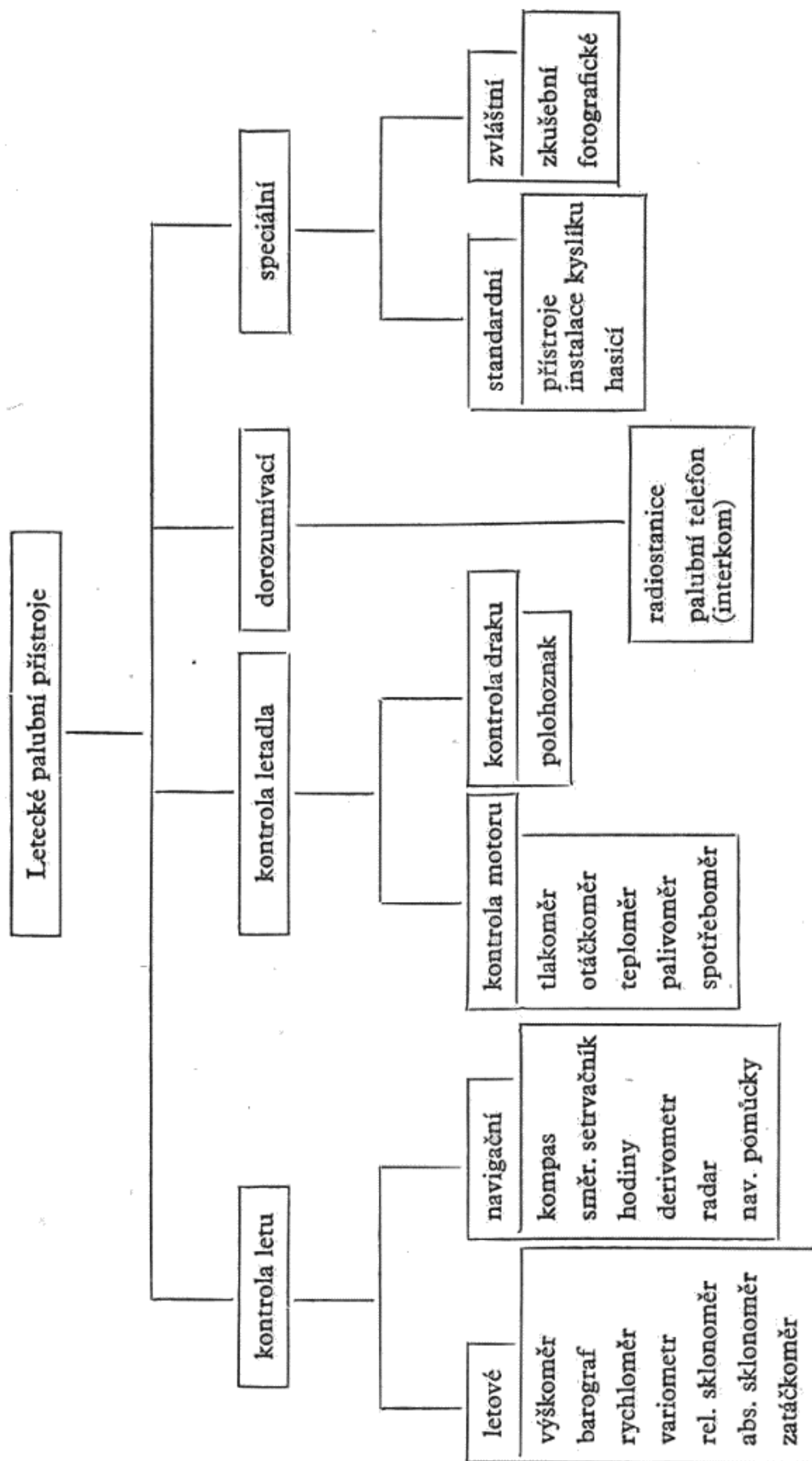
2.1. POŽADAVKY, KLADENÉ NA LETECKÉ PŘÍSTROJE

Dříve, než se seznámíme s vlastním rozdělením přístrojů, sezná-míme se s hlavními požadavky, kladenými na letecké přístroje. Tak si budeme moci snadněji udělat představu o obtížnosti navrhování přístrojů a budeme si také moci více vážit hodnot, které jsou do každého přístroje na palubě letadla vloženy.

Hlavní požadavky kladené na letecké palubní přístroje jsou:

1. malá váha a malé rozměry;
2. dostatečná přesnost údaje;
3. necitlivost a odolnost vůči zrychlení a otřesům;
4. necitlivost k povětrnostním vlivům (změny teploty, vlhkosti a podobně);
5. dobré tlumení systému přístroje (ručička se nesmí chvět);
6. snadné čtení údajů přístroje ve světle i za tmy;
7. snadná montáž a demontáž přístroje do letadla;
8. necitlivost na magnetická pole a nevytváření magnetického nebo elektromagnetického pole;
9. snadné ošetřování;
10. přiměřeně dlouhá životní doba;
11. ukazovat ve všech polohách letadla.

Uvedené požadavky platí ovšem pro letecké přístroje všeobecně. Některé body však neplatí pro určité přístroje, kterými se naopak příslušná veličina měří. [Například pro magnetické kompasy nebude platit bod 8., pro teploměry část bodu 4., pro sklonoměry bod 11. a podobně.]



2.2. ROZDĚLENÍ PŘÍSTROJŮ

Letecké palubní přístroje si můžeme rozdělit podle různých hledisek. Nejnázornější a zároveň nejpřehlednější je rozdělení podle účelu jejich použití.

Takové rozdělení si nyní uvedeme. (Viz tabulku na straně 8.)

Z přehledu vidíme, že většina přístrojů, které máme ve větroni, patří do skupiny letových přístrojů a jen kompas a polohoznak do skupin jiných.

Kromě uvedeného přehledu uvedme si ještě přehled přístrojů, o kterých se mluví v této knize a jejich příslušnost do jednotlivých skupin.

Skupina	Přístroj
Letové	Výškoměr Barograf Rychloměr Variometr Relativní sklonoměr (podélný a příčný) Absolutní sklonoměr (umělý horizont) Zatáčkoměr
Navigační	Kompas Směrový setrvačnick
Speciální standardní	Dýchač (tlak kyslíku, kontrola dodávky kyslíku)
Kontrola motoru	Otáčkoměr Tlakoměr (oleje, paliva) Teploměr (oleje, okolního vzduchu) Palivoměr
Kontrola draku	Polohoznak (vztlakových klapek, podvozku, vyvažovacích plošek)

Účelem leteckých palubních přístrojů je tedy umožnit pilotovi kontrolu a měření parametrů vlastního letu (letové přístroje), na-

vigace (navigační přístroje), zajištění letu (dorozumívací přístroje), zajištění života pilota při výškových letech (dýchače), kontroly polohy určitých částí letadla (polohoznaky).

U pilota motorového letadla přistupuje k tomu ještě možnost kontroly chodu motoru (motorové přístroje).

Má-li každý let být kvalitní a účelný a má-li se využít všech vlastností letadla při využití všech vnějších parametrů (meteorologické situace a podobně), musí být větron nejen vybaven kvalitními přístroji, ale také – a to hlavně – musí pilot znát funkci a využití všech palubních přístrojů.

Je ovšem nezbytné nejen přístroje znát a „věřit jim“, ale je také nutné, aby se se všemi přístroji zacházelo tak, jak náleží.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Převážná část přístrojů, užívaných ve větroních, patří do skupiny letových přístrojů, případně navigačních přístrojů.

Palubní přístroje ve větronu slouží tedy ke kontrole letu, k navigaci. Přístrojů ostatních skupin (rozdělení leteckých palubních přístrojů podle účelu použití) se užívá jen ve speciálních případech (vysokovýkonné větroně, závodní větroně a podobně).

Kontrolní otázky

1. Do jaké skupiny patří většina přístrojů ve větronu?
2. Vyjmenujte přístroje, sloužící ke kontrole letu!
3. Vyjmenujte nejdůležitější navigační přístroje!
4. Vyjmenujte přístroje pro kontrolu chodu motoru!
5. Vyjmenujte přístroje pro kontrolu draku!
6. Které jsou přístroje speciální?
7. Jaké přístroje patří do skupiny dorozumívacích přístrojů?
8. Jaké požadavky se kladou na letecké palubní přístroje?

3. ZÁKLADNÍ JEDNOTKY MEZINÁRODNÍ STANDARDNÍ ATMOSFÉRA

3.1. ZÁKLADNÍ JEDNOTKY

Přesto, že se v této knize užívá převážně jednotek, které jsou všeobecně známé ze školy (z osmiletky), probereme si všechny základní jednotky, s nimiž se v této knize setkáme, abychom si své znalosti zopakovali.

Délkové míry

Základní délkovou mírou, užívanou v naší republice, je metr. Označujeme ho m. Je to mezinárodně stanovená míra. (1 metr = = desetimilióntá část délky jedné čtvrtiny zemského poledníku.)

Etalon metru, tj. základní mezinárodní metr, je uložen v Paříži. Protože kontrola měřidel a délek podle tohoto „uloženého“ metru je nepohodlná, je metr stanoven také jako násobek vlnové délky určitého druhu světla.

Základní míra, tj. 1 metr, má své zlomky a násobky, které si uvedeme:

1 desetina metru	= 1 decimetr	= 1 dm
1 setina metru	= 1 centimetr	= 1 cm
1 tisícina metru	= 1 milimetr	= 1 mm
1 milióntina metru	= 1 mikrón	= 1 μ
1.000 metrů	= 1 kilometr	= 1 km

V zahraničí (v západních státech) se užívá odlišných délkových jednotek. Uvedeme si je proto, že s nimi můžeme přijít do styku například při studiu zahraniční literatury.

1 anglická námořní míle = 1854,965 m

(= Sea mile, Nautical mile, Geographical mile – zeměpisná míle = $\frac{1}{60}$ délkového stupně na rovníku)

1 americká námořní míle = 1853,249 m

1 statutární míle = 1609,3295 m

Vzdálenosti se udávají ve statutárních mílích, nebo v anglických námořních mílích.

Rychlosti letadel se udávají v knotech (= angl. námořních mílích za hodinu), nebo ve statutárních mílích za hodinu.

Najdeme-li tedy v literatuře vzdálenost, uletěnou určitým letadlem 1500 anglických námořních mil, víme, že jde o

$$1500 \times 1854,965 = 2782.447,5 \text{ m} = 2782,4 \text{ km}$$

Není-li u vzdálenosti údaj, o jaké míle jde, jde většinou o vzdálenost ve statistických mílích.

Uletí-li letadlo 1800 mil, bude to tedy:

$$1800 \times 1609,3295 = 2\,896\,793,1 \text{ m} \approx 2896,8 \text{ km.}$$

Další délkové jednotky:

$$1 \text{ stopa} = 1 \text{ ft} = 0,30479 \text{ m}$$

$$1 \text{ palec} = 1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$$

Výšky se udávají ve stopách.

Víme-li například, že letadlo letělo ve výšce 30 000 ft, spočítáme si, že letělo ve výšce

$$30\,000 \times 0,30479 = 9143,7 \text{ metrů.}$$

Budeme-li slyšet, že napadlo 50 in sněhu, spočítáme si, že to je:

$$50 \times 25,4 = 1270 \text{ mm} = 1,27 \text{ m.}$$

Plošné míry

Plošné míry jsou odvozeny od užívaných délkových měr. Základní plošnou mírou bude tedy 1 m² (čtvereční metr), cm², mm² apod.

Vztah mezi jednotlivými plošnými jednotkami je tento:

$$1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2 (= 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm})$$

Při převodu jednotlivých plošných měr mezi sebou si musíme uvědomit, že užití délkové míry musíme umocňovat!

Například čtverec o straně 10 mm má plochu:

$$F = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2 (100 = 10^2)$$

Objemové míry

Objemové míry jsou odvozeny od používaných délkových měr. Označují se znaménkem třetí mocniny nad rozměrem míry.

Uvedme si základní užívané jednotky:

$$1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3 (100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm})$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3 (10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm})$$

Další užívanou objemovou jednotkou je 1 litr:

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3 (10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm})$$

a tedy:

$$1 \text{ l} = \frac{\text{m}^3}{1000}$$

Při převodu jednotlivých objemových měr mezi sebou si musíme uvědomit, že musíme užít převodu 1000!

Například

$$1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3 \text{ apod.}$$

V západních státech se užívá odlišných objemových jednotek. Jednotkou objemu je 1 gallon. (Této objemové jednotky se užívá v letectví, v jiných oborech se užívá velkého množství jiných jednotek.)

$$1 \text{ anglický gallon} = 1 \text{ Imperial gallon} = 4,543389 \text{ litrů}$$

$$1 \text{ americký gallon} = 3,78533 \text{ litrů.}$$

Má-li tedy nádrž s palivem obsah 200 Imp. gal. (anglických gallonů), je to:

$$200 \times 4,543389 = 908,6778 \text{ litrů.}$$

Má-li palivová nádrž obsah 200 amerických gallonů, potom je to:

$$200 \times 3,78533 = 757,066 \text{ litrů.}$$

Váhy

V technické soustavě měr, které budeme v této knize užívat, je základní jednotkou váhy 1 kilogram = 1 kg.

1 kg byl stanoven jako váha destilované vody objemu 1 litru při teplotě + 4° C a tlaku vzduchu 760 mm Hg.

Další užívané jednotky jsou násobky nebo zlomky základní jednotky:

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ gramů} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ kg} = 100 \text{ dekagramů} = 100 \text{ dkg}$$

$$1 \text{ metrický cent} = 100 \text{ kg}$$

$$1 \text{ tuna} = 1000 \text{ kg}$$

V západních státech se opět užívá odlišných jednotek váhy.

$$1 \text{ libra} = 1 \text{ Imperial pound} = 0,4535924277 \text{ kg.}$$

Váží-li tedy někdo 150 liber, je to:

$$150 \times 0,45359 = 68,0388 \text{ kg.}$$

Rychlosti

Rychlostí rozumíme změnu délky za určitou dobu.

Základní jednotkou pro rychlost je 1 m/s (metr za vteřinu [sekundu]).

V praxi se dále užívá další jednotky 1 km/h (kilometrů za hodinu).

Mezi uvedenými dvěma jednotkami platí vztah:

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Má-li tedy například vlak rychlost 65 km/h, je to:

$$65 : 3,6 = 18,05 \text{ m/s.}$$

Nebo například fouká-li vítr rychlostí 7 m/s, bude to zároveň:

$$7 \times 3,6 = 25,2 \text{ km/h.}$$

V západních státech se užívá těchto jednotek rychlosti:

$$1 \text{ statutární míle/hodinu} = 1,6093295 \text{ km/h}$$

nebo:

$$1 \text{ uzel} = 1 \text{ knot} = 1 \text{ kn} = 1,854965 \text{ km/h.}$$

Uzel je přímo jednotkou rychlosti, které se používá též mezinárodně v meteorologii jako jednotky rychlosti větru.

Dozvíme-li se tedy, že letadlo letělo rychlostí 650 mil za hodinu, víme, že to je:

$$650 \times 1,6093 = 1\,046\,064,17 \text{ m/h} \approx 1046,06 \text{ km/h}$$

Letí-li letadlo rychlostí 510 kn, je to:

$$510 \times 1,854965 = 946,03215 \text{ km/h.}$$

Další jednotkou rychlosti (užívanou například pro určení rychlosti klesání nebo stoupání letadla) je:

$$1 \text{ ft/s} = 0,3048 \text{ m/s.}$$

Například variometry s rozsahem do 20 ft/s mají rozsah:

$$20 \times 0,3048 = 6,096 \text{ m/s.}$$

Stoupavost letadel se udává ve ft/min., přičemž:

$$1 \text{ ft/min.} = 0,00508 \text{ m/s.}$$

Tlak

Tlak je určen jako účinek síly, působící na určitou plochu.

Jednotek tlaku, kterých se používá, je mnoho. Uvedeme si hlavní z nich, tj. ty jednotky, se kterými se v této knize setkáme:

1 at = technická atmosféra

1 atm = fyzikální atmosféra

1 kg/cm² = tlak 1 kg na plochu 1 cm²

1 mm Hg = 1 tor (mm Hg = milimetrů sloupce rtuti)
(tor = název jednotky tlaku podle učence Torricelliho)

1 mb = milibar (milibar je jednotkou fyzikální soustavy měr a je to tlak 1000 dynů na plochu 1 cm², kde 1 dyn je fyzikální jednotka síly, která uděluje hmotě jednoho gramu zrychlení 1 cm/s²)

1 mm H₂O = milimetrů sloupce vody

Vztahy mezi jednotlivými jednotkami:

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ at} = 735,56 \text{ mm Hg} = 980,7 \text{ mb} = 0,9678 \text{ atm} = 10\,000 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ tor} = 0,00136 \text{ kg/cm}^2 = 1,333 \text{ mb} = 0,00132 \text{ atm} = 13,59 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ at} = 760 \text{ mm Hg} = 1013,25 \text{ mb}$$

Pro nás nejdůležitější vztahy jsou:

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 735,56 \text{ mm Hg} = 980,7 \text{ mb}$$

$$760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ tor} = 1013,25 \text{ mb} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

V západních státech se pro tlak užívá jednotky 1 libra na čtvereční palec, přičemž platí, že:

$$1 \text{ lb/sq. in} = 0,07031 \text{ kg/cm}^2$$

(sq. in = square inch = čtvereční palec)

Teplota

Základní jednotkou teploty u nás užívanou je 1° C = stupeň Celsia.

Základními body Celsiovy teplotní stupnice je 0° C a 100° C.

0° C je teplota tání ledu čisté destilované vody při tlaku vzduchu 760 mm Hg.

100° C je teplota varu destilované vody při tlaku 760 mm Hg. Interval mezi těmito základními body je rozdělen na sto stejných dílků – stupňů.

Další užívanou stupnicí je stupnice Kelvinova. Je to tzv. stupnice absolutní, protože její základní (nulový) bod určuje minimální možnou teplotu, tzv. absolutní nulu teploty.

Jednotlivé stupně Kelvinovy stupnice jsou stejně velké jako stupně Celsiovy.

$$\text{Absolutní nula} = 0^\circ \text{ K} = -273^\circ \text{ C.}$$

Bude-li tedy teplota 0° C, je to zároveň 273° K.

$$\text{Teplota} + 15^\circ \text{ C} = 273 + 15 = 288^\circ \text{ K}$$

$$\text{Teplota} + 100^\circ \text{ C} = 373^\circ \text{ K, atd.}$$

V západních státech se užívá stupnice Fahrenheitovy. Pro přepočtení teploty udané ve °F na teplotu ve °C použijeme následujícího výrazu:

$$t^\circ \text{ C} = \frac{5}{9} (t^\circ \text{ F} - 32)$$

Pro přepočtení teploty udané ve °C na teplotu ve °F použijeme výrazu:

$$t^\circ \text{ F} = \frac{9}{5} t^\circ \text{ C} + 32.$$

Uvedme si příklady.

Teploměr ukazuje teplotu 176° F, kolik je to °C?

Užijeme uvedeného vzorce:

$$t^\circ \text{ C} = \frac{5}{9} (176 - 32) = \frac{5}{9} \cdot 144 = 80^\circ \text{ C.}$$

Naopak chceme vědět, kolik °F je 40° C.

Opět užijeme jednoho z uvedených výrazů:

$$t^\circ \text{ F} = \frac{9}{5} \cdot 40 + 32 = 72 + 32 = 104^\circ \text{ F.}$$

Zrychlení

Zrychlením rozumíme změnu rychlosti za určitou dobu.

Při každém nerovnoměrném pohybu tělesa působí na těleso určité zrychlení. Působí-li zrychlení ve směru pohybu, bude pohyb tělesa zrychlený, působí-li zrychlení proti pohybu tělesa, bude jeho pohyb zpžděný.

Jednotky, ve kterých zrychlení vyjadřujeme, jsou:

$$\text{cm/s}^2 \text{ nebo } \text{m/s}^2.$$

Na každé těleso na Zemi působí zrychlení tíže zemské, které označujeme g .

Normální zrychlení tíže zemské, se kterým počítáme, je:

$$g = 980,665 \text{ cm/s}^2 = 9,806 \text{ m/s}^2$$

(Tato hodnota zemského tíhového zrychlení platí přesně pro výšku hladiny moře a místo na Zemi na 45° severní zeměpisné šířky.)

Většinou vyjadřujeme všechna zrychlení v násobcích zemského tíhového zrychlení, tj. určujeme, kolikrát je určité zrychlení větší nebo menší než zemské tíhové zrychlení.

Například při zatáčce o náklonu 60° je výsledné zrychlení, působící na letadlo a tedy i na pilota, $2g$, tj. pilot jako by vážil $2 \times$ více než za normálního letu, nebo stojí-li v klidu na Zemi.

Často užíváme pro větší názornost účinku zrychlení, tj. sílu, kterou vyvodí působící zrychlení na příslušné těleso.

Tak například místo zrychlení tíže zemské užíváme váhy tělesa, místo odstředivého zrychlení odstředivé síly apod.

Měrná váha

Měrnou vahou nějakého tělesa rozumíme váhu jeho určitého objemu, nejčastěji cm^3 nebo m^3 .

Jednotkou měrné váhy, označované γ , je tedy:

$$1 \text{ g/cm}^3 \text{ nebo } 1 \text{ kg/m}^3$$

Pro názor uvedme si měrné váhy některých látek apod.:

Dřevo smrkové $\gamma = 0,47 \div 0,87 \text{ g/cm}^3$.

Lidské tělo při vdechu . $\gamma = 0,94 \div 0,98 \text{ g/cm}^3$.

Lidské tělo při výdechu. $\gamma = 1,01 \div 1,07 \text{ g/cm}^3$.

Železo $\gamma = 7,85 \text{ g/cm}^3$.

Voda destilovaná . . . $\gamma = 1 \text{ g/cm}^3$.

Vzduch (pro výšku hladiny moře) $\gamma = 1,225 \text{ kg/m}^3$.

Všimněme si, že pro vzduch užíváme označení kg/m^3 , protože při označení v g/cm^3 bychom dostávali příliš malá čísla.

1 krychlový metr vzduchu váží 1,225 kg.

Jeden litr vzduchu bude tedy vážit 1,225 gramů.

Měrná hmota (hustota)

Více než měrné váhy se v letectví užívá měrné hmoty (hustoty), která se označuje ρ a souvisí s měrnou vahou vztahem:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

kde: γ je měrná váha a

g je zrychlení tíže zemské.

Měrná hmota bude mít tedy rozměr $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$.

Pro vzduch je $\rho = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$

Otáčky

Otáčí-li se nějaké těleso, potom určujeme jeho otáčky, tj. počet otáček tělesa o 360° kolem osy otáčení za jednotku času.

Nejčastěji užívaným rozměrem jsou otáčky za minutu, označované ot/min.

Pro názornost si uvedme, že provozní otáčky leteckého motoru Walter Minor 4-III při letu cestovní rychlostí jsou 2300 ot/min.

Výkon

V kapitole o přístrojích pro kontrolu chodu motoru se setkáváme s pojmem *výkon leteckého motoru*. Řekněme si tedy stručně, že výkonem rozumíme určitou práci, vykonanou za určitý čas.

Jednotky výkonu, kterých se nejčastěji užívá, jsou:

$$1 \text{ kgm/s a } 1 \text{ k (kůň).}$$

1 kgm/s je takový výkon, kdy těleso o váze 1 kg zvedneme do výše 1 metru za 1 vteřinu.

Vztah mezi uvedenými dvěma jednotkami výkonu:

$$1 \text{ k} = 75 \text{ kgm/s.}$$

Pro názor si uvedme, že výkon motoru Walter Minor 4-III je 105 koní. (Maximální výkon při otáčkách motoru 2500 ot/min.)

Úhly

Jednotkou pro určování úhlů je 1 úhlový stupeň.

Rozdělíme-li obvod kruhu na 360 stejných dílků a dělicí značky jednotlivých úseků na obvodu kruhu spojíme se středem kruhu, po-

tom každá z takto vzniklých přímků svírá se sousední přímkou úhel právě jednoho úhlového stupně.

Dělení kruhu na 360° (na 360 úhlových stupňů) bylo voleno proto, že číslo 360 je dělitelné beze zbytku většinou základních čísel, což je pro počítání velmi výhodné.

(360 je dělitelné: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, atd.)

Této podmínce by nevyhovovalo například číslo 100 nebo 1000.

Další jednotkou, ve které vyjadřujeme úhly například při matematických nebo fyzikálních výpočtech, je 1 radián = 1 rad. 1 rad je úhel, při kterém se oblouk kruhu, omezeného oběma přímkami určujícími daný úhel, rovná právě poloměru uvažovaného kruhu. Tato podmínka je splněna při úhlu obou přímků $57,3^\circ$. Tedy:

$$1 \text{ rad} = 57,3^\circ.$$

Úhlová rychlost

Otáčí-li se nějaké těleso kolem určité osy otáčení, můžeme určit tzv. úhlovou rychlost každého bodu otáčejícího se tělesa.

Úhlovou rychlostí rozumíme pootočení určitého bodu tělesa, otáčejícího se kolem určité osy otáčení, za jednotku času. Natočí-li se například nějaký bod tělesa kolem osy otáčení o 60° za vteřinu, říkáme, že se otáčí úhlovou rychlostí $60^\circ/\text{s}$.

Úhlovou rychlost označujeme symbolem ω (omega). Jednotkou jsou $^\circ/\text{s}$. Někdy se užívá udávání úhlové rychlosti v rad/s.

Otáčí-li se tedy nějaké těleso úhlovou rychlostí $57,3^\circ/\text{s}$, bude úhlová rychlost tělesa vyjádřená v rad/s: 1 rad/s.

Elektrotechnické jednotky

Protože se setkáme v této knize také s elektrotechnickými jednotkami, zopakujme si znalosti o nich.

Jednotkou napětí je 1 Volt = 1 V. Napětí označujeme U.

Jednotkou elektrického proudu je 1 Ampér = 1 A. Proud označujeme I.

Jednotkou elektrického odporu je 1 Ohm = 1 Ω . Odpor označujeme R.

Mezi uvedenými základními elektrotechnickými jednotkami platí vztah známý jako Ohmův zákon:

$$I = \frac{U}{R}, \text{ tedy: } U = R \cdot I \quad \text{a} \quad R = \frac{U}{I}.$$

3.2. MEZINÁRODNÍ STANDARDNÍ ATMOSFÉRA

Naši Zemi obklopuje vzdušný obal (zvaný atmosféra), který sahá do výšky asi 300 ÷ 500 km. Nás ovšem zajímá pouze oblast bezprostředně nad povrchem Země, a to do výšky asi 11 km. Vrstvu atmosféry do výšky asi 11 km nazýváme troposféra. V této vrstvě létáme (máme na mysli větrone), a proto nás zajímá, jaké změny základních veličin v ní nastávají.

Hodnoty základních veličin, které charakterizují poměry v troposféře (jako jsou: tlak vzduchu, teplota vzduchu, měrná hmota vzduchu apod.), se s výškou mění a to většinou velmi značně.

Ze zkušenosti víme, že se základní hodnoty uvedených veličin, tj. například jejich hodnoty ve výšce hladiny moře, často mění. Abychom mohli porovnávat výkony letadel, cejchovat přístroje apod., musíme si stanovit nějaké střední, průměrné hodnoty všech veličin, které nás zajímají a se kterými budeme počítat. Tato otázka byla velmi důkladně a podrobně studována a byla sestavena tzv. Mezinárodní standardní atmosféra (zkratka MSA), která přesně vystihuje všechny veličiny a jejich změny s výškou.

Správnou funkci většiny leteckých palubních přístrojů (výškoměru, rychloměru, variometru, teploměru vzduchu apod.) umožňuje právě jen zavedení Mezinárodní standardní atmosféry.

U leteckých přístrojů se využívá právě přesně definovaného průběhu příslušných veličin s výškou.

Z meteorologie víme, že základní parametry (tlak vzduchu, teplota vzduchu, měrná hmota vzduchu apod.) se mění během dne i během ročních období. Charakter jejich průběhu (změny) s výškou však odpovídá charakteru jejich průběhu podle Mezinárodní standardní atmosféry.

Základní podmínky Mezinárodní standardní atmosféry

Tlak vzduchu

Tlak vzduchu ve výšce hladiny moře (0 m MER), při teplotě $+15^\circ \text{C}$ a zrychlení tíže zemské $980,665 \text{ cm/s}^2$ je:

$$p_0 = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ tor} = 1013,25 \text{ mb}.$$

Tlaku vzduchu ubývá s výškou podle exponenciální křivky, a to tak, že ve výšce asi 5,5 km nad hladinou moře je tlak vzduchu asi poloviční a ve výšce asi 10 km nad hladinou moře asi čtvrtinový vzhledem k základnímu tlaku ve výšce hladiny moře.

Tlak ve výšce je dán výrazem:

$$p_H = p_0 (1 - 0,00002257 \cdot H)^{5,256}$$

kde:

p_H je tlak ve výšce H (kg/m^2)
 p_0 je tlak ve výšce hladiny moře ($p_0 = 10\,330 \text{ kg/m}^2$)
 H je výška nad mořem v metrech

Teplota vzduchu

Teplota vzduchu ve výšce hladiny moře (0 m MER), při tlaku 760 mm Hg a zrychlení tíže zemské $980,665 \text{ cm/s}^2$ je:

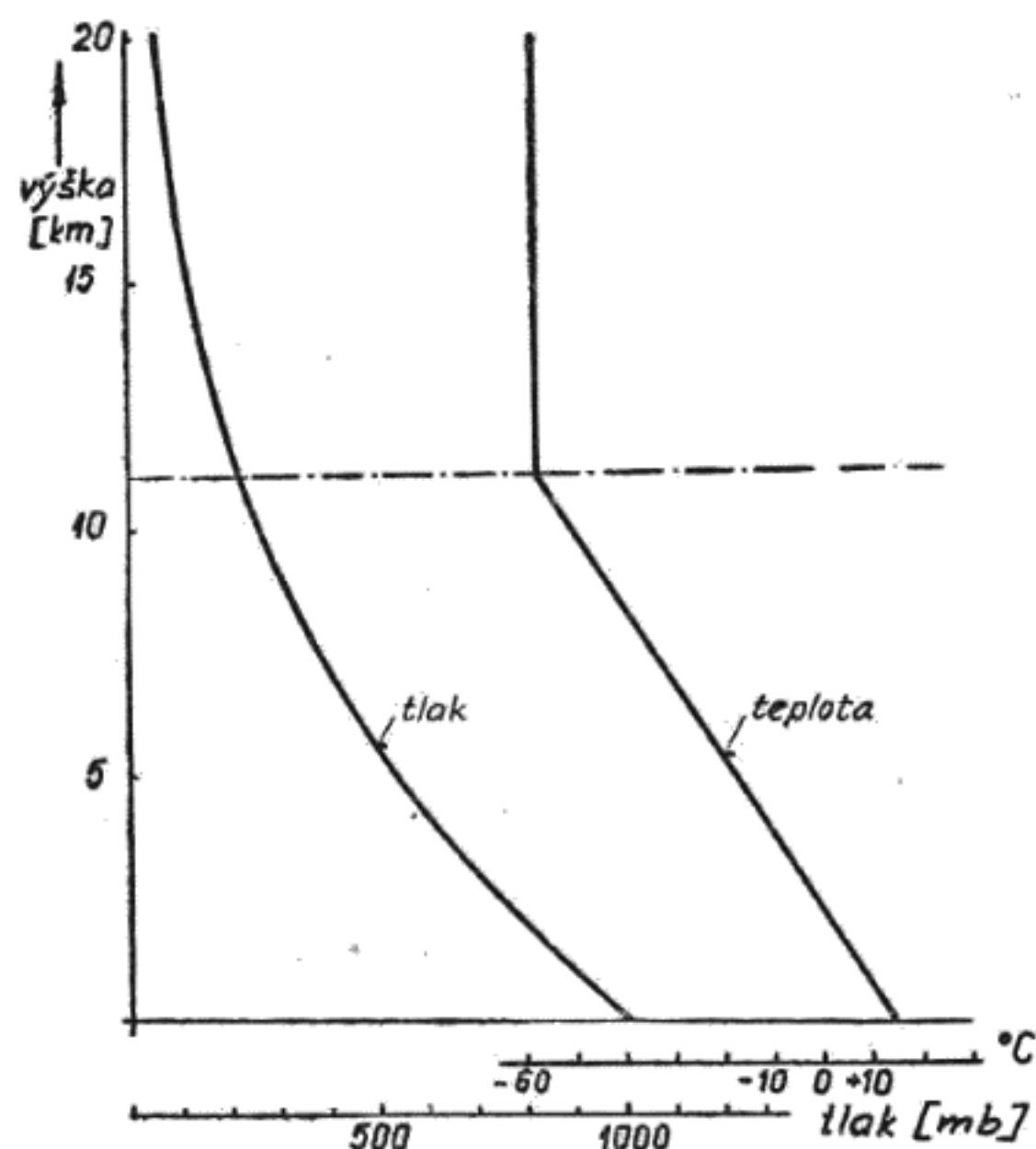
$$t_0 = +15^\circ \text{C} \quad (\text{tj. } T_0 = +288^\circ \text{K})$$

Pokles teploty s výškou se v troposféře předpokládá rovnoměrný, a to o $0,65^\circ \text{C}$ na každých 100 metrů výšky.

Teplota vzduchu v horní hranici troposféry, tj. ve výšce 11 000 m je $-56,5^\circ \text{C}$. Ve stratosféře zůstává (asi do výšky 30 km) teplota konstantní $= -56,5^\circ \text{C}$.

Teplota ve výšce je dána výrazem:

$$t_H = 15 - 0,0065 \cdot H$$



Obr. 3.1. Průběh tlaku a teploty vzduchu s výškou podle Mezinárodní standardní atmosféry.

kde:

t_H je teplota ve výšce H ve $^\circ \text{C}$
 H je výška nad mořem v metrech

Měrná váha vzduchu

Měrná váha vzduchu ve výšce hladiny moře, při teplotě $+15^\circ \text{C}$, tlaku vzduchu 760 mm Hg a zrychlení tíže zemské $980,665 \text{ cm/s}^2$ je:

$$\gamma_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

Měrná váha vzduchu klesá s výškou podle exponenciální křivky.

Měrná váha ve výšce je dána výrazem:

$$\gamma_H = \gamma_0 (1 - 0,00002257 \cdot H)^{4,256}$$

kde:

γ_H je měrná váha vzduchu ve výšce H v kg/m^3
 γ_0 je měrná váha vzduchu ve výšce hladiny moře ($\gamma_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
 H je výška nad mořem v metrech

Měrná hmota vzduchu

Měrná hmota vzduchu ve výšce hladiny moře, při teplotě $+15^\circ \text{C}$, tlaku 760 mm Hg a zrychlení tíže zemské $980,665 \text{ cm/s}^2$ je:

$$\rho_0 = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

Měrná hmota vzduchu klesá s výškou podle exponenciální křivky.

Měrná hmota vzduchu ve výšce je dána výrazem:

$$\rho_H = \rho_0 (1 - 0,00002257 \cdot H)^{4,256}$$

kde:

ρ_H je měrná hmota vzduchu ve výšce H v $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$
 ρ_0 je měrná hmota vzduchu ve výšce hladiny moře ($\rho_0 = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)
 H je výška nad mořem v metrech

Rychlost zvuku

Rychlost zvuku ve výšce hladiny moře, při teplotě $+15^\circ \text{C}$, tlaku 760 mm Hg a zrychlení tíže zemské $980,665 \text{ cm/s}^2$ je:

$$c_0 = 340,77 \text{ m/s} = 1226,77 \text{ km/h}$$

přičemž pro stanovení rychlosti zvuku platí výraz:

$$c = 20,08 \sqrt{T}$$

kde T je absolutní teplota (ve $^\circ \text{K}$).

Rychlost zvuku ve výšce je dána výrazem:

$$c_H = 20,08 \sqrt{T_H}$$

kde:

c_H je rychlost zvuku ve vzduchu ve výšce H v m/s
 T_H je teplota ve výšce H ve $^\circ \text{K}$

Pro doplnění si uvedme průběh barometrického tlaku a teploty s výškou podle Mezinárodní standardní atmosféry.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Jednotkami délky jsou: m, cm, km (případně ft, in, statutární míle, anglická námořní míle, americká námořní míle.)

Užívané plošné míry jsou: m^2 , cm^2 .

Jednotkou váhy je 1 kg, 1 gram (případně libra).

Používanými jednotkami objemu jsou: m^3 , cm^3 , litr (případně anglický gallon, nebo americký gallon).

Rychlosti se udávají v m/s , km/h (případně ve statutárních mílích za hodinu, v uzlech, ve ft/s).

Užívané jednotky tlaku jsou: at , atm , kg/cm^2 , kg/m^2 , $mm\ Hg = tor$, $mm\ H_2O$, mb (případně $lb/sq.\ in$).

Teplota se udává ve $^{\circ}C$, $^{\circ}K$ (případně ve $^{\circ}F$).

Zrychlení se udává v cm/s^2 nebo v m/s^2 .

Měrná váha se udává v g/cm^3 nebo v kg/m^3 .

Měrná hmota má rozměr: $kg \cdot s^2/m^4$.

Otáčky hřídele motoru se udávají v ot/min .

Výkon motoru se udává v koních nebo v kgm/s .

Úhly se určují buď v úhlových stupních nebo v radiánech.

Úhlová rychlost se udává v úhlových stupních za vteřinu nebo v rad/s .

Základní elektrotechnické jednotky jsou: volt, ampér a ohm.

Kontrolní otázky

1. Jaké znáte jednotky délky?
2. Jaké znáte jednotky plochy?
3. Jaké znáte jednotky objemu?
4. Jaké znáte jednotky váhy?
5. Jaké znáte jednotky rychlosti?
6. Jaké znáte jednotky tlaku?
7. Jaké znáte jednotky teploty?
8. Jaké znáte jednotky zrychlení?
9. Co je to měrná váha a v jakých jednotkách se udává?
10. Co je to měrná hmota a v jakých jednotkách se udává?
11. V jakých jednotkách se udávají otáčky motoru?
12. V jakých jednotkách se udává výkon motoru?
13. Jakých jednotek užíváme pro úhly?
14. Jaké znáte jednotky úhlové rychlosti?
15. Jaké znáte základní elektrotechnické jednotky a jaký vztah mezi nimi platí?
16. Proč byla zavedena Mezinárodní standardní atmosféra?
17. Jaké jsou hodnoty tlaku, teploty, měrné váhy a měrné hmoty ve výšce hladiny moře? (Podle Mezinárodní standardní atmosféry.)
18. Jak si můžeme vypočítat rychlost zvuku?

4. VÝŠKOMĚRY

Za letu je nezbytné znát výšku letu. Výšku můžeme měřit buď od hladiny moře nebo jako výšku nad terénem. Výška nad mořem, tak zvaná absolutní výška (značíme ji „MER“), měří se od hladiny moře v Amsterdamu. Tato hladina byla stanovena jako základní hladina pro měření absolutní výšky. Měření výšky tímto způsobem má několik předností.

Především je to skutečnost, že výšky (absolutní), odečítané na výškoměru, můžeme velice pohodlně a přehledně porovnávat s údaji v mapě, takže není třeba žádného přepočtu. Rovněž pro lety v letových hladinách, což jsou mezinárodně stanovené absolutní výšky letu pro mimoletištní lety určitým kursem, užívá se absolutních výšek.

Druhý způsob měření výšky je měření výšky nad terénem, tak zvané relativní výšky (značíme ji „SOL“). Někdy se tato výška rozlišuje na výšku nad místem přistání a výšku nad terénem v nějakém místě. Pro naše účely postačí ovšem všeobecné označení *relativní výška*. Tohoto způsobu měření výšky se používá převážně při letech kolem jednoho letiště, tak zvaných letištních letech.

Pro úplnost a pro názor si v úvodu uvedeme přehled typů výškoměrů.

1. *Výškoměry barometrické*, kterými měříme vlastně změny barometrického (statického) tlaku, který se zákonitě mění s výškou. Tímto typem se budeme dále zabývat podrobněji, protože ve větrovních se používá výhradně tohoto typu výškoměru.

2. *Výškoměry elektrické*, jinak nazývané radiovýškoměry, které měří relativní výšku tím, že zjišťují dobu, která uběhne, než se rádiový signál vyslaný z vysílače výškoměru směrem k Zemi a od ní odražený vrátí zpět k přijímači výškoměru. Je zřejmé, že se tohoto typu používá ve větších motorových letadlech (dopravních a vojenských) a pro měření větších výšek letu, kde se neprojeví nerovnosti přelétávaného terénu.

3. *Výškoměry akustické*. Jsou to rovněž výškoměry relativní, měřící dobu mezi vysláním a přijetím akustického signálu, vyslaného směrem k zemi. Tohoto typu se již nepoužívá.

4. *Výškoměry optické* jsou rovněž výškoměry relativní, protože

měří výšku optickým sledováním terénu. Tento způsob určování výšek předpokládá ovšem viditelnost země a užívá se ho například při fotografování země nebo při bombardování.

Barometrické výškoměry

Především je nutné si uvědomit, že těmito výškoměry měříme tlak vzduchu a jen stupnice přístroje je cejchována v jednotkách výšky. Přístroj je cejchován pro podmínky standardní atmosféry, o které jsme se dozvěděli v kapitole 3.

Vzpomínáme si, že podmínky ve skutečné atmosféře se mohou od „standardních“ podmínek lišit. Proto musíme vědět, že pokud chceme například přistávat na jiném letišti, budeme se zajímat nejen o jeho nadmořskou výšku, ale především o barometrický tlak na tomto letišti.

Změny tlaku, které mohou nastat za dobu několika hodin, mohou odpovídat chybě ve stanovení výšky až 100 i více metrů. To znamená mnohdy nepříjemné překvapení. Jde-li o údobí přechodu výrazné studené fronty, může se uvedený časový úsek zkrátit na minuty. V takových případech ovšem nezbytně potřebujeme rádiové spojení s cílovým letištem, abychom změnu tlaku mohli zjistit. Protože větroně nejsou dosud vybaveny radiostanicemi, zapamatujeme si několik základních pouček, které nám pomohou k tomu, aby naše lety byly bezpečnější. Jde o let do oblasti nižšího tlaku a o let za situace náhlých změn tlaku vzduchu. Správné chování při takových situacích si probereme v závěru této kapitoly.

Řekli jsme si již, že výškoměry, kterých užíváme ve větroních, jsou převážně výškoměry barometrické. Zopakujme si nyní své znalosti o tlaku vzduchu a o jeho měření.

Víme, že Země je obklopena vrstvou vzduchu, které říkáme atmosféra Země. Výška atmosféry je asi 300 km, ovšem v této výšce jsou již jen nepatrné zbytky vzduchu. Nás však zajímají výšky mnohem menší, asi do výšky 11 km nad zemí. Tato vrstva atmosféry se nazývá troposféra. Tlak vzduchu, který je dán vlastně vahou sloupce vzduchu nad určitým místem, působící na určitou plochu (m^2 nebo cm^2), bude tedy se vzrůstající výškou nad zemí klesat.

Protože právě v troposféře se odehrávají všechny povětrnostní děje, není tlak pro určitou výšku vždy stejný, ale mění se (jak se podrobněji dovíme v meteorologii). Jak jsme se již dozvěděli v kapitole 3, je normální tlak na hladině moře (za podmínek standardní atmosféry) 760 mm Hg (760 mm rtuťového sloupce), což se rovná 1013,2 mb (1013,2 milibarů). Tlak klesá se vzrůstající výškou podle určité křivky (viz obrázek 3.1.) a to tak, že ve výšce asi 5,5 km nad zemí je poloviční a ve výšce asi 10 km rovná se asi jedné čtvrtině tlaku při zemi.

Ubývání tlaku s výškou je v přízemní vrstvě asi 1 mm Hg na změnu výšky 11,5 m a asi 1 mb na změnu výšky o 8,5 m. Tyto hodnoty platí však pro výšky 0 ÷ 1000 m MER.

Podle těchto hodnot můžeme tedy vypočítat tlak na hladině moře, známe-li tlak na letišti a naopak.

Uvedme si příklad.

Změříme tlak na letišti (například rtuťovým barometrem) 730,5 mm Hg. Výška letiště nad mořem je 308 m. Potom tlak pro hladinu moře (říkáme: „tlak přepočtený na hladinu moře“) vypočítáme takto:

Úbytek tlaku je 1 mm Hg na každých 11,5 m výšky. Tedy na výšku 308 m bude rozdíl tlaku:

$$308 : 11,5 = 26,8 \text{ mm Hg.}$$

Zjištěnou hodnotu připočteme k hodnotě barometrického tlaku na letišti (připočteme proto, že tlak s ubývající výškou stoupá) a dostaneme:

$$730,5 + 26,8 = 757,3$$

Tlak přepočtený na hladinu moře je tedy 757,3 mm Hg. To je méně než normální tlak podle standardní atmosféry, který je 760 mm Hg. Jsme tedy v oblasti nižšího tlaku vzduchu.

Pozor! Hodnotu 26,8 mm Hg přičítáme, protože „klesáme“ s letiště na úroveň hladiny moře. (S ubývající výškou barometrický tlak stoupá, protože máme nad sebou stále vyšší sloupec vzduchu.)

Jiný příklad si uvedme pro případ, že barometrický tlak na letišti měříme v milibarech:

Zjištěný tlak na letišti o nadmořské výšce 308 m je 981,5 mb. Víme, že na každých 8,5 m výšky se mění barometrický tlak o 1 mb. Pro výšku 308 m MER bude tedy tlakový rozdíl:

$$308 : 8,5 = 36,3 \text{ mb.}$$

Zjištěnou hodnotu připočteme k hodnotě barometrického tlaku a dostaneme:

$$981,5 + 36,3 = 1017,8$$

Tlak přepočtený na hladinu moře je tedy 1017,8 mb.

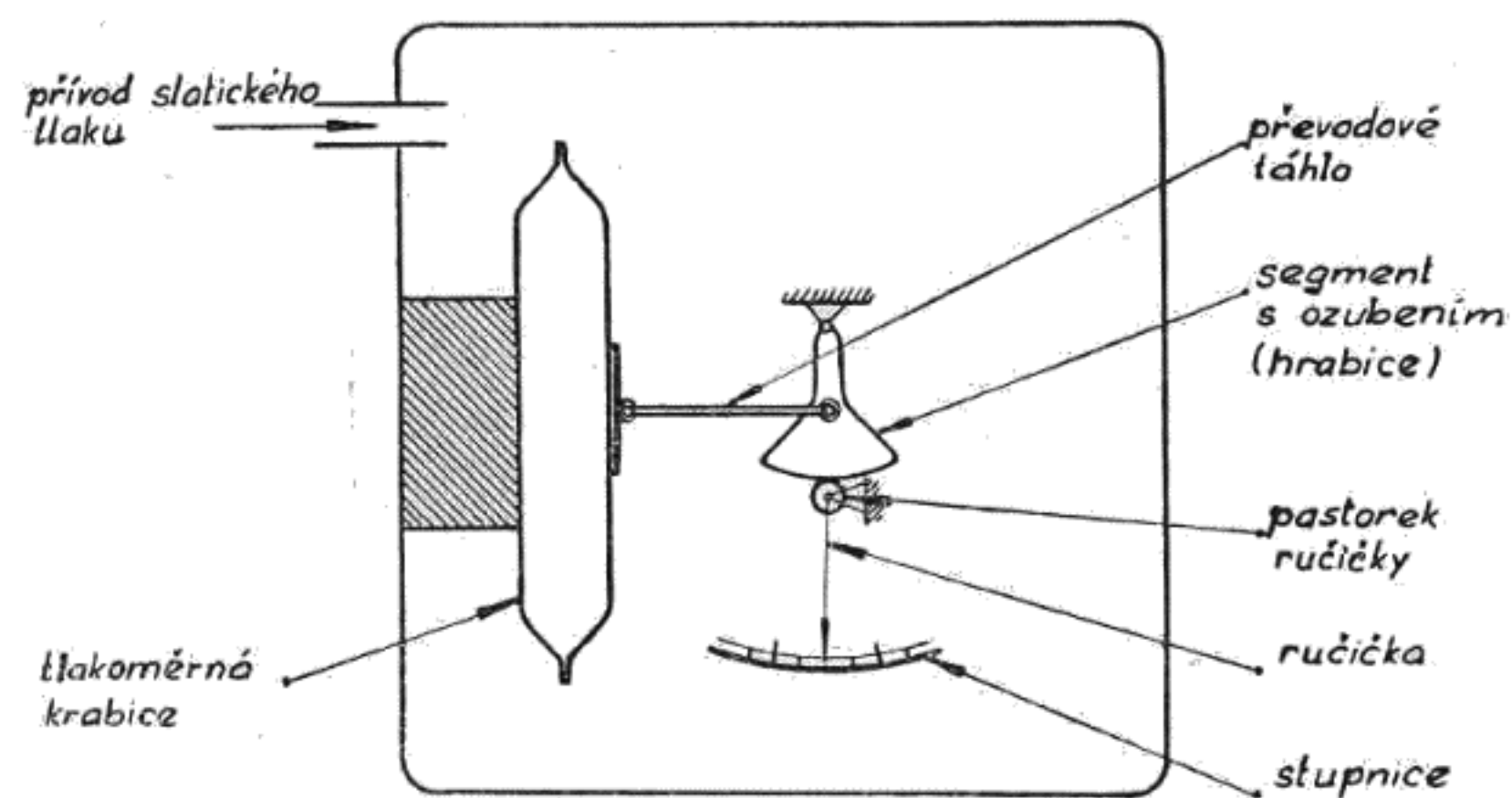
Víme, že podle podmínek standardní atmosféry má být tlak na hladině moře 1013,2 mb. My jsme však vypočítali tlak pro výšku hladiny moře 1017,8 mb. To je víc než odpovídá podmínkám standardní atmosféry, jsme tedy v oblasti vyššího tlaku vzduchu.

Místo tohoto výpočtu je možno tlak přepočtený na hladinu moře zjistit přímo pomocí výškoměru, jak uvidíme dále.

Nyní již víme, že barometrický výškoměr měří vlastně tlak vzduchu v místě, kde s ním právě jsme. Z toho vyplývá, že výškoměr bude mít jen jeden přívod tlaku, a to přívod tlaku statického (barometrického). Statický tlak pro výškoměr se snímá statickými otvory Venturiho nebo Pitotovy trubice, jak se dozvíme v kapitole o rychloměrech.

V moderní době se statický tlak snímá někdy statickými otvory v boku trupu větroně, jak je rovněž uvedeno v kapitole 6. Princip výškoměru je velmi jednoduchý, jak vidíme z obrázku 4.1., kde je nakresleno schéma výškoměru.

V uzavřeném pouzdra přístroje je pevně svým jedním dnem uchycena tlakoměrná krabice (někdy zvaná „dóza“), ze které je vyčerpán vzduch a je těsně uzavřena. Její druhé (volné) dno je táhlem spojeno s hrabí, která při svém pohybu nahání pastorek ručičky,



Obr. 4.1. Schéma barometrického výškoměru.

ukazující na stupnici. Do pouzdra přístroje se přivádí statický tlak, který se, jak již víme, zákonitě mění s výškou.

Funkci výškoměru si vysvětlíme na příkladu:

Stoupáme-li, klesá statický tlak vzduchu, tedy klesá i tlak uvnitř pouzdra přístroje. Tím se také zmenšuje tlak (síla), působící na tlakoměrnou krabici, takže krabice se vlastní pružností roztahuje, to znamená, že převodové táhlo se pohybuje směrem doprava. Tím nutí přes hrabici a pastorek ručičku, aby se pohybovala ve směru pohybu hodinových ručiček. Ručička přístroje bude ukazovat na stupnici stále větší a větší výšku, protože stupnice přístroje je cejchována přímo v jednotkách výšky, tj. v metrech.

Klesáme-li, stoupá statický tlak vzduchu, tedy stoupá i tlak uvnitř pouzdra přístroje. Tím se zvětšuje tlak, působící na tlakoměrnou krabici, která se stále více stlačuje. Pohyb volného dna tlakoměrné krabice směrem doleva se přenáší převodem na ručičku, která se pohybuje proti směru pohybu hodinových ručiček. Ručička přístroje bude ukazovat stále menší a menší výšku.

Ve skutečnosti není ovšem konstrukce výškoměru tak jednoduchá, jak je uvedeno na obrázku 4.1. Většinou se užívá více (2–3) tlakoměrných krabic, přístroj musí být vybaven teplotní kompenzací apod.

Protože v provozu Svazarmu není dovoleno přístroje demontovat a opravovat, není třeba se konstrukcí jednotlivých typů výškoměrů podrobně zabývat. Pro podrobnější studium této problematiky lze doporučit literaturu, která je uvedena v závěru této knihy. Pro pochopení činnosti přístroje nám tedy postačí základní schéma, které jsme si popsali.

Musíme si ovšem také všimnout zacházení s výškoměrem v provozu a jeho užití v provozu.

Podíváme-li se na čelní desku přístroje, kterou nazýváme číselník, uvidíme kromě základní výškové stupnice ještě malou stupničku v okénku hlavní stupnice, případně u některých typů výškoměrů ještě číslicovou stupnici v dalším okénku hlavní stupnice.

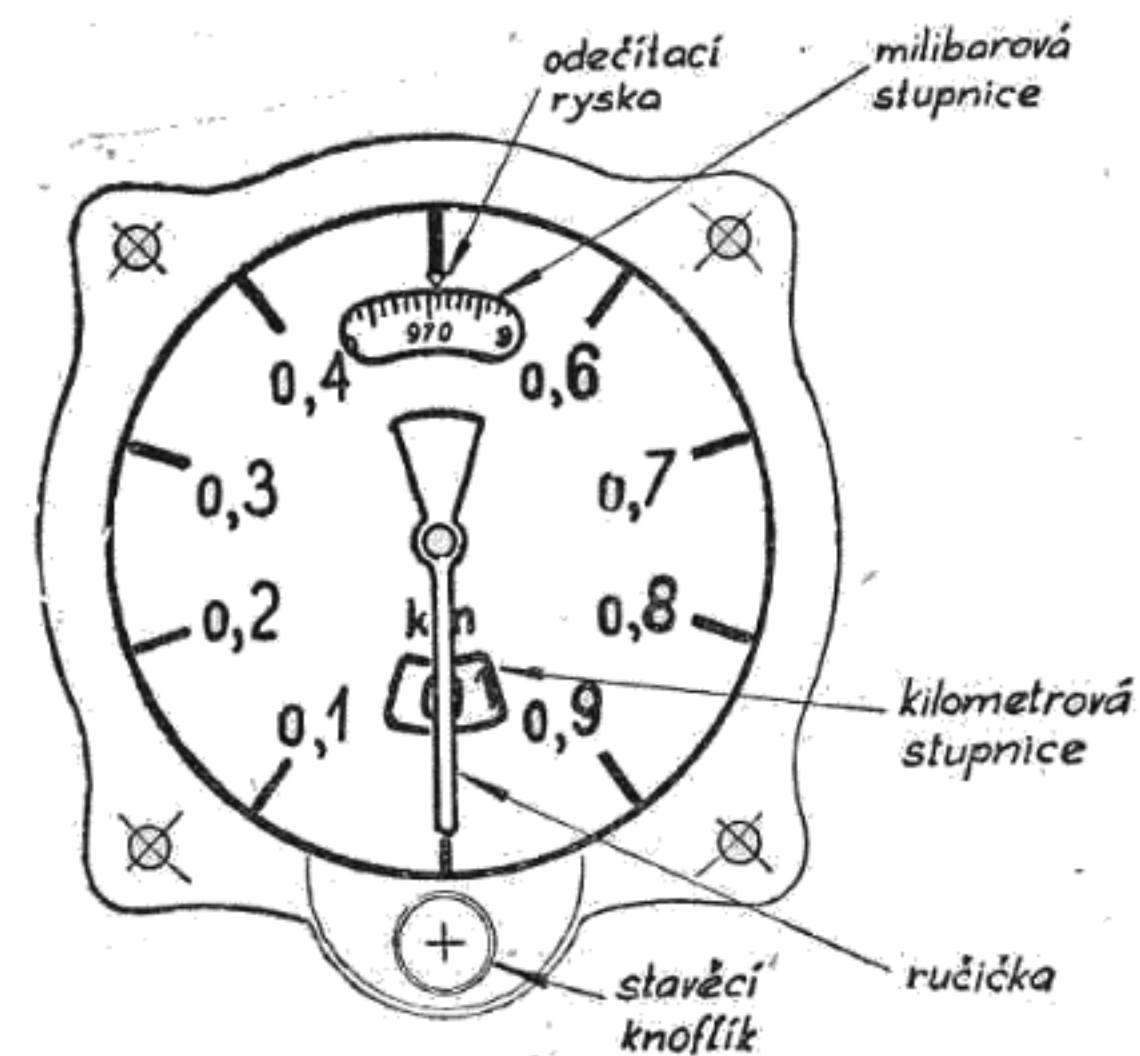
Malá stupnička se nazývá tlaková nebo někdy milibarová stupnice. Slouží pro přesné nastavení určitého tlaku vzduchu (o způsobu, jak se toto nastavení provádí, povíme si dále). Je ovládána stavěcím knoflíkem. Při otáčení stavěcím knoflíkem natáčí se jednak tlaková stupnice, jednak ručička přístroje. Hodnoty na tlakové stupnici odečítáme proti odečítací rysce, umístěné na hlavní stupnici.

Zacházení s tlakovou stupnicí

Znalost, jak zacházet s tlakovou (milibarovou) stupnicí, patří mezi základní znalosti o výškoměru.

V zásadě platí pravidlo, že tlaková stupnice ukazuje takový barometrický tlak, jaký je v místě (výšce), kdy ručička výškoměru je na nule.

Tak například nastavíme na tlakové stupnici otáčením knoflíku tlak 1018 mb, což je tlak přepočtený na hladinu moře podle rozhlasové zprávy. Podle naší poučky by tedy ručička výškoměru ukazovala nulu v místě, pro které jsme nastavili na tlakové stupnici tlak, tedy ve výšce mořské hladiny. My ovšem jsme na letišti, které má



Obr. 4.2. Číselník výškoměru.

určitou nadmořskou výšku. Výškoměr nám ukáže právě tuto výšku, tj. ručička výškoměru bude ukazovat nadmořskou výšku letiště.

Podle stejného pravidla si snadno odvodíme, že když nastavíme pomocí stavěcího knoflíku tlakovou stupnici na hodnotu barometrického tlaku na letišti (zjištěného například rtuťovým staničním barometrem), bude ručička výškoměru ukazovat na nulu.

Opačným způsobem můžeme tedy zjistit tlak na letišti tím, že nastavíme ručičku výškoměru stavěcím knoflíkem na nulu a na tlakové stupnici si proti odečítací rysce přečteme barometrický tlak na letišti.

Obdobně si můžeme zjistit pomocí výškoměru tlak přepočtený na hladinu moře tak, že nastavíme ručičku výškoměru na hodnotu nadmořské výšky letiště (kterou ovšem musíme přesně znát) a na tlakové stupnici odečteme přímo tlak přepočtený na hladinu moře.

Popsaná vlastnost výškoměru se samozřejmě nemění ani za letu, což si musíme velmi dobře uvědomit.

Letíme-li například na přelet, nemusíme výškoměr nastavovat hned při startu na absolutní výšku, protože nevíme, zda se nám vůbec podaří odpoutat se od letiště. Pro případ návratu zpět na letiště je pohodlnější a bezpečnější mít výškoměr nastaven na letišti na nulu. Ovšem v případě, že se odpoutáme od letiště, musíme výškoměr přestavit na absolutní výšku, abychom mohli odečítané výšky snadno porovnávat s výškami na mapě a nemuseli stále přičítat k údajům výškoměru nadmořskou výšku výchozího letiště.

Nutno dodat, že je nutné znát tlak přepočtený na hladinu moře pro den letu. Neznáme-li jej, musíme tlakovou stupnici nastavit na hodnotu tlaku přepočteného na hladinu moře podle Mezinárodní standardní atmosféry, tedy na 1013,2 mb; musíme si potom ovšem uvědomit určitou chybu, které se dopouštíme tím, že nenastavujeme skutečný, nýbrž „ideální“ tlak. Je-li tlaková stupnice dělena v mm Hg, potom samozřejmě pro tento případ nastavujeme tlak 760 mm Hg.

Na chybu, vzniklou nastavením na „ideální“ tlak přepočtený na hladinu moře, musíme zvláště pamatovat v případě, že letíme do oblasti nižšího tlaku (do oblasti tlakové níže), kde by omyl vzniklý chybným údajem výškoměru mohl být nebezpečný.

Nastavení na 1013,2 mb (nebo 760 mm Hg) provádějí ve výšce 300 m nad zemí motoráři, protože létají podle tlakových výšek. Ti ovšem přistávají na letištích, kde lze výšku nad tímto letištem odhadnout mnohem lépe, než u plachtaře, který přistává často ve velmi členitém a neznámém terénu, kde chyba každých 50 m může být kritická.

Zopakujme si zacházení s tlakovou stupnicí na příkladech.

a) *Chceme zjistit tlak přepočtený na hladinu moře*

Jsme na letišti o nadmořské výšce 273 m.

Točíme stavěcím knoflíkem tak dlouho, až bude ručička výškoměru ukazovat na hodnotu 273 m.

Na tlakové stupnici odečteme tlak přepočtený na hladinu moře 1017 mb.

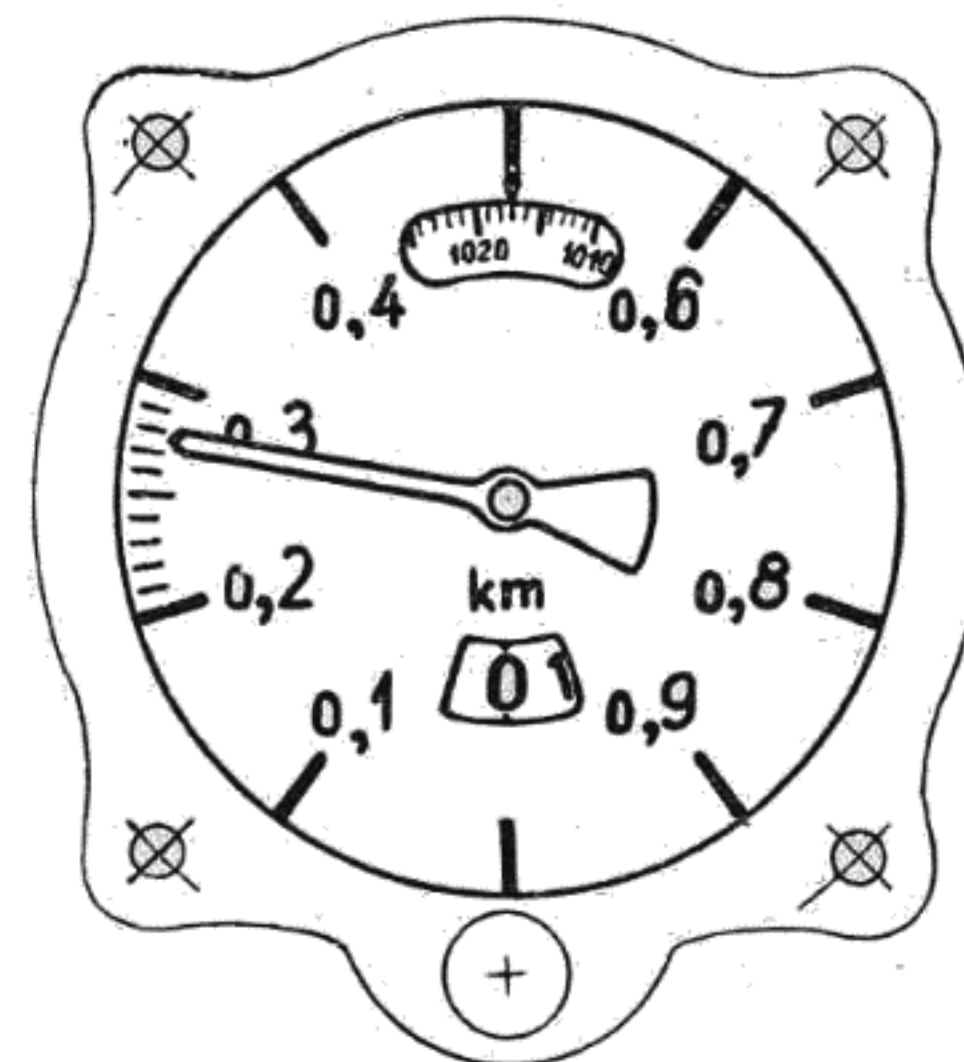
b) *Chceme zjistit hodnotu barometrického tlaku na letišti pomocí výškoměru*

Točíme stavěcím knoflíkem přístroje tak dlouho, až bude ručička výškoměru ukazovat na nulu.

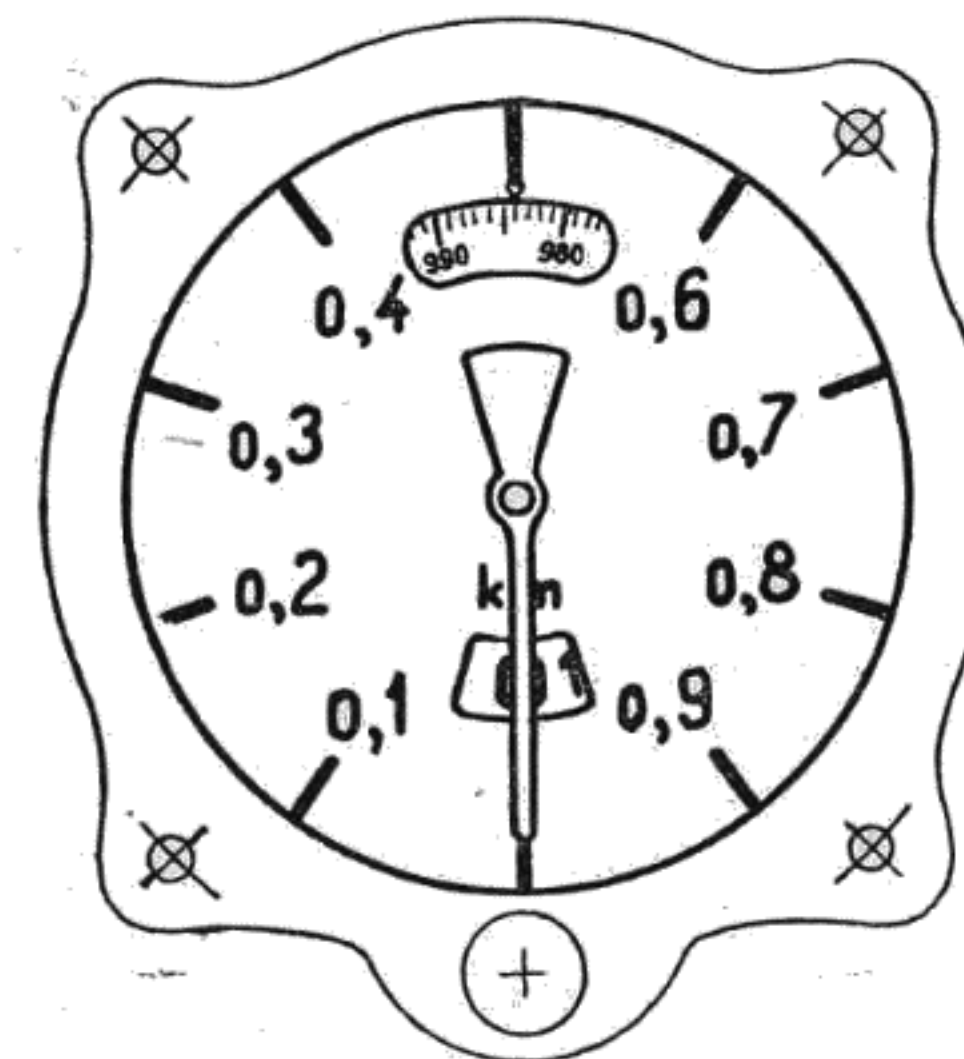
Proti odečítací rysce odečteme na tlakové stupnici tlak na letišti 984 mb.

c) *Letíme na přelet z letiště Točná do Medlánek*

Máme výšku 1000 m nad letištem Točná a výškoměr ukazuje skutečně 1000 m, protože je dosud nastaven pro výšku letiště (před startem ukazovala ručička výškoměru na nulu). Vidíme, že meteorologické podmínky na trati jsou dobré, proto se rozhodneme opustit prostor letiště a vydat se na přelet. Z ranní předpovědi z rozhlasu víme, že Brnem (letištěm Medlánek) procházela izobara 1004 mb. Nastavíme tedy na tlakové stupnici hodnotu 1004 mb. Tak máme výškoměr nastaven přesně na absolutní výšku vzhledem k tlaku na cí-

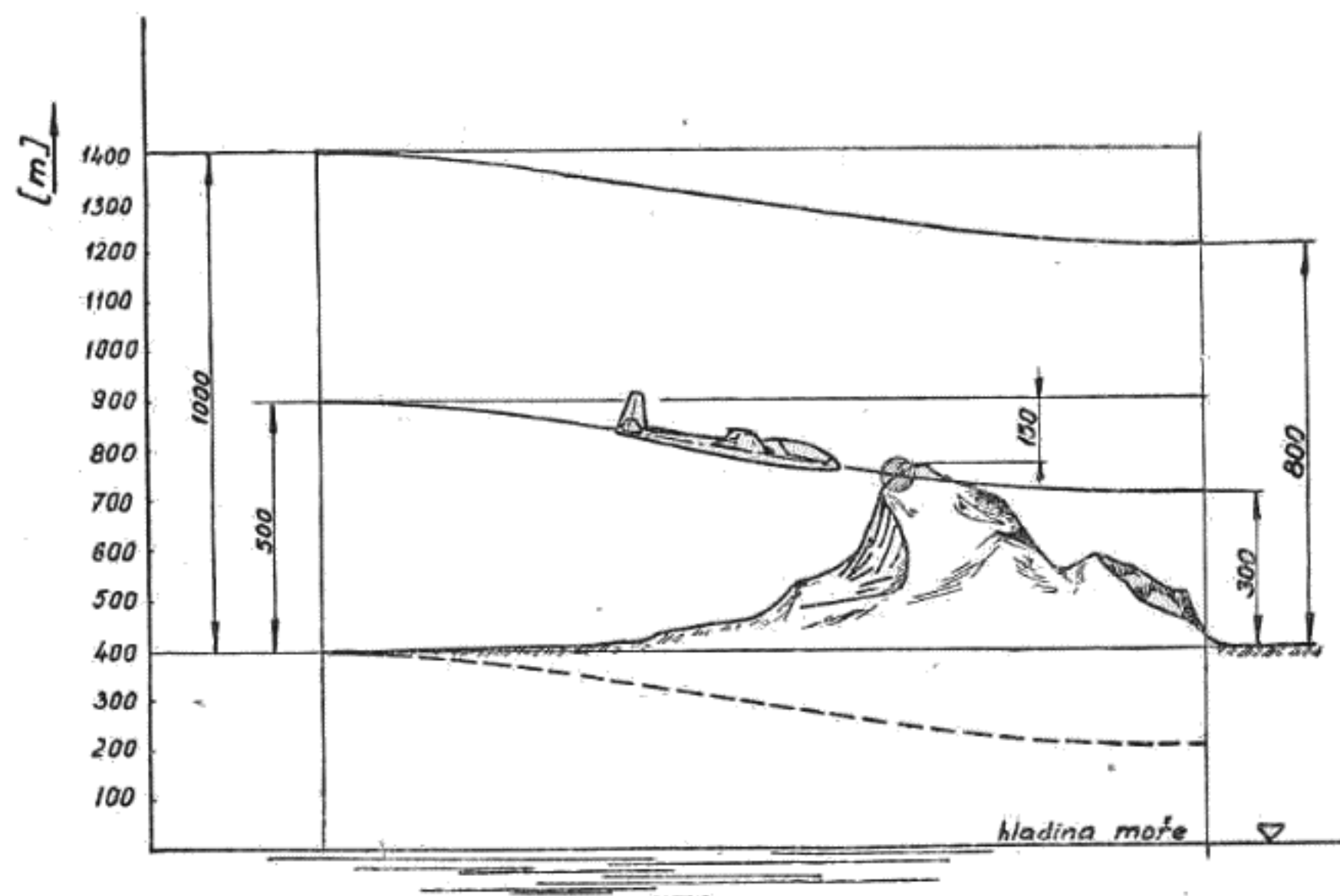


Obr. 4.3. Zjištění tlaku, přepočteného na hladinu moře.



Obr. 4.4. Zjištění tlaku na letišti.

lovém letišti. Z předpovědi víme, že tlaková tendence je stálá (tlak se během dne nebude měnit), proto nemusíme počítat s chybou vlivem letu do oblasti nižšího nebo vyššího tlaku vzduchu. Kdybychom



Obr. 4.5. Let do oblasti s nižším tlakem vzduchu.

nastavili výškoměr na 1013,2 mb, dopustili bychom se chyby 78 metrů!

Protože za letu může někdy dojít ke změnám tlaku, popišme si nyní chyby údaje výškoměru vlivem změn tlaku za letu.

a) Let do oblasti s nižším tlakem

Poletíme-li směrem do oblasti s nižším barometrickým tlakem (tlakem přepočteným na hladinu moře), tj. do oblasti tlakové níže, budeme počítat s tím, že výška udávaná výškoměrem je větší než skutečná výška. Výškoměr tedy udává stále větší výšku, než ve skutečnosti máme. Tyto poměry si objasníme na obrázku 4.5.

Startujeme z letiště o nadmořské výšce 400 m. Letíme východním směrem do oblasti nižšího tlaku vzduchu. Přistávat budeme na letišti o stejné nadmořské výšce jako výchozí letiště, tedy 400 m MER. Výškoměr máme nastaven na nadmořskou výšku podle tlaku přepočteného na hladinu moře v místě výchozího letiště. Na trati máme pohoří o nadmořské výšce 750 m. Není nám známo, o jakou hodnotu je tlak na cílovém letišti nižší než tlak na letišti, ze kterého jsme star-

tovali. Myslíme si, že tlakový rozdíl je malý. Při přeletu pohoří budeme však překvapeni, že letíme v úrovni jeho vrcholu, ačkoliv máme mít podle mapy výšku nad pohořím 150 m. Čím je to způsobeno? Tím, že dodržujeme výšku, tedy tlak podle nastavení při startu (lépe řečeno po startu). Ve skutečnosti letíme po hladině stejného barometrického tlaku, která však neleží rovnoběžně s hladinou moře (jak je vidět z obrázku 4.5), nýbrž klesá směrem k cílovému letišti. (V oblasti nižšího tlaku je v určité nadmořské výšce nižší barometrický tlak než v místě se stejnou nadmořskou výškou v oblasti vyššího tlaku, jak vidíme z obrázku.)

Na obrázku vidíme, že hladina 980 mb, kterou za letu dodržujeme, je nad místem startu 500 m nad zemí. Nad cílovým letištem, které leží v oblasti nižšího tlaku vzduchu, je hladina 980 mb ve výšce pouze 300 m nad zemí. Do kopce o nadmořské výšce 750 m zcela určitě narazíme, protože jej hladina 980 mb (ve které letíme) protíná.

Jaké chyby se dopouštíme? Je to neznalost tlaku na cílovém letišti. Zapamatujeme si tedy: Letíme-li do oblasti nižšího tlaku vzduchu, musíme počítat s tím, že výšky udávané výškoměrem jsou větší než skutečné výšky.

b) Let v době, kdy může prudce poklesnout tlak

Letíme-li za situace, kdy je možno očekávat náhlý pokles tlaku vzduchu (například při přechodu fronty), musíme počítat s tím, že v období několika desítek minut může dojít k tlakovým změnám takového řádu, že chyba

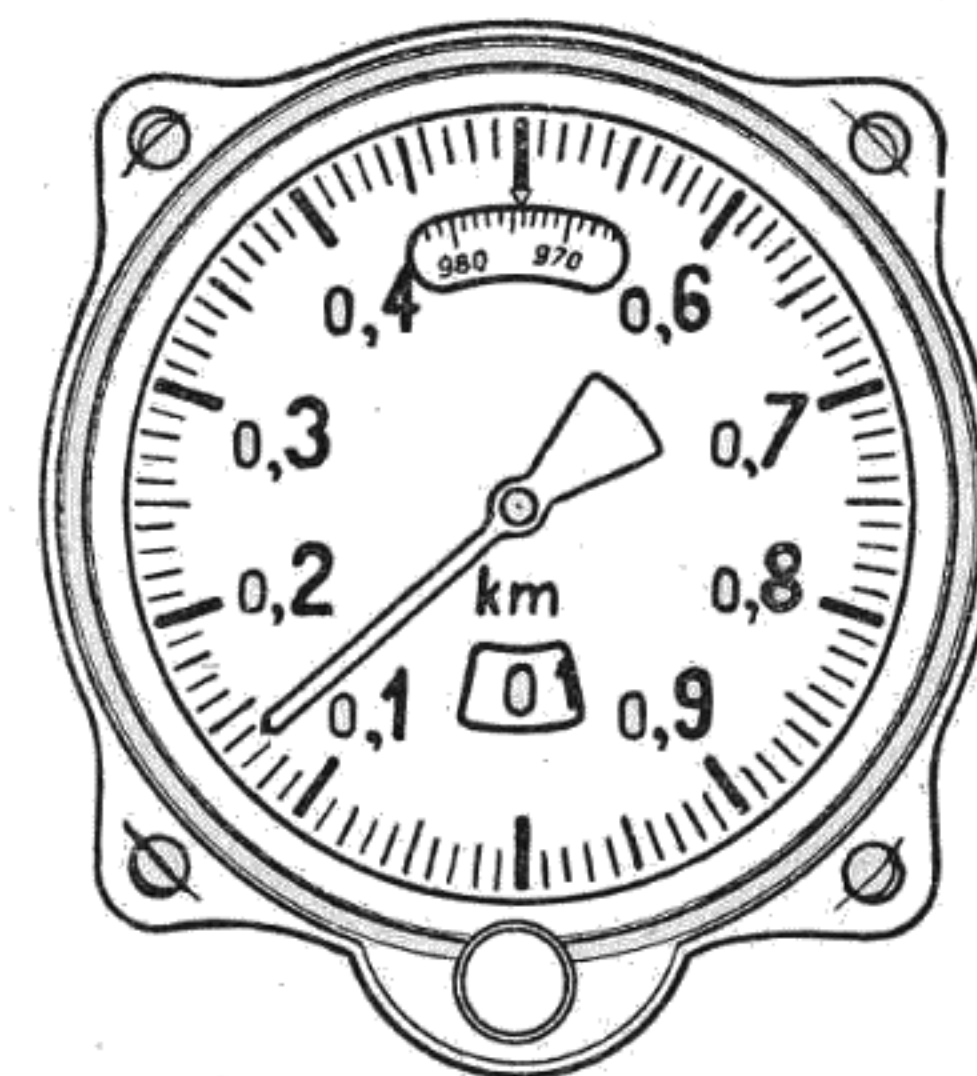
v určení výšky pomocí barometrického výškoměru bude znamenat chybu 100–200 m.

Popišme si ještě některé typy užívaných výškoměrů a způsob zacházení s nimi.

Jednoručičkový výškoměr zn. Fuess

patří mezi nejznámější a donedávna nejrozšířenější typy užívaných výškoměrů. Jeho číselník je vidět na obrázku 4.6.

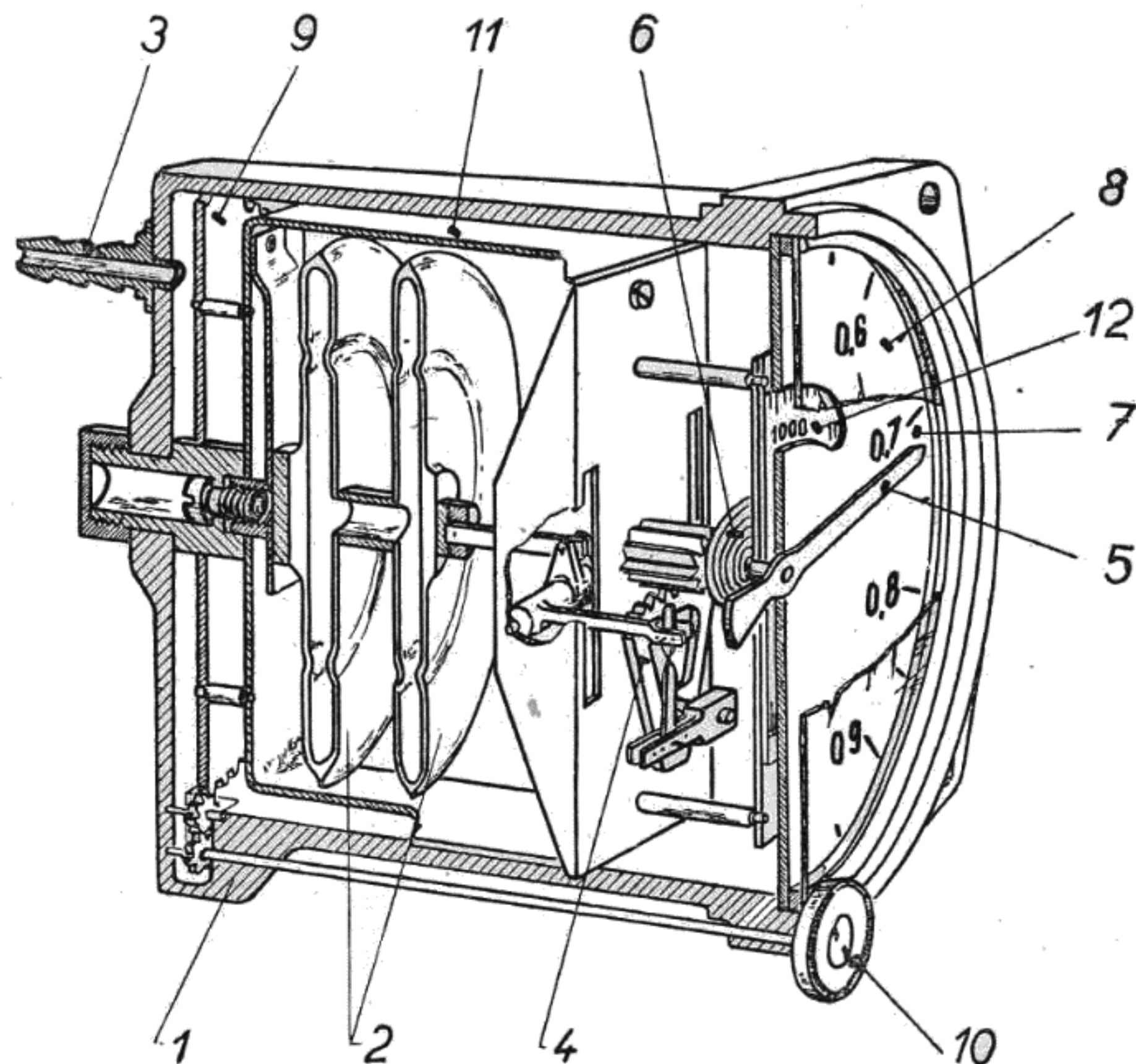
Jediná ručička ukazuje na stupnici, dělené na 10 hlavních dílků, označených 01, 02, 03, ... až 09, které



Obr. 4.6. Číselník výškoměru Fuess.

představují změnu výšky o 100 metrů. Každý z těchto dílků je rozdělen na 10 malých dílků, představujících změnu výšky o 10 m.

Jakmile ručička přístroje „oběhne“ jednou dokola, posune se tisícový číselník (viditelný spodním okénkem v hlavní stupnici) o jednotku. Na obrázku 4.6 je údaj výškoměru 135 m. V horní části



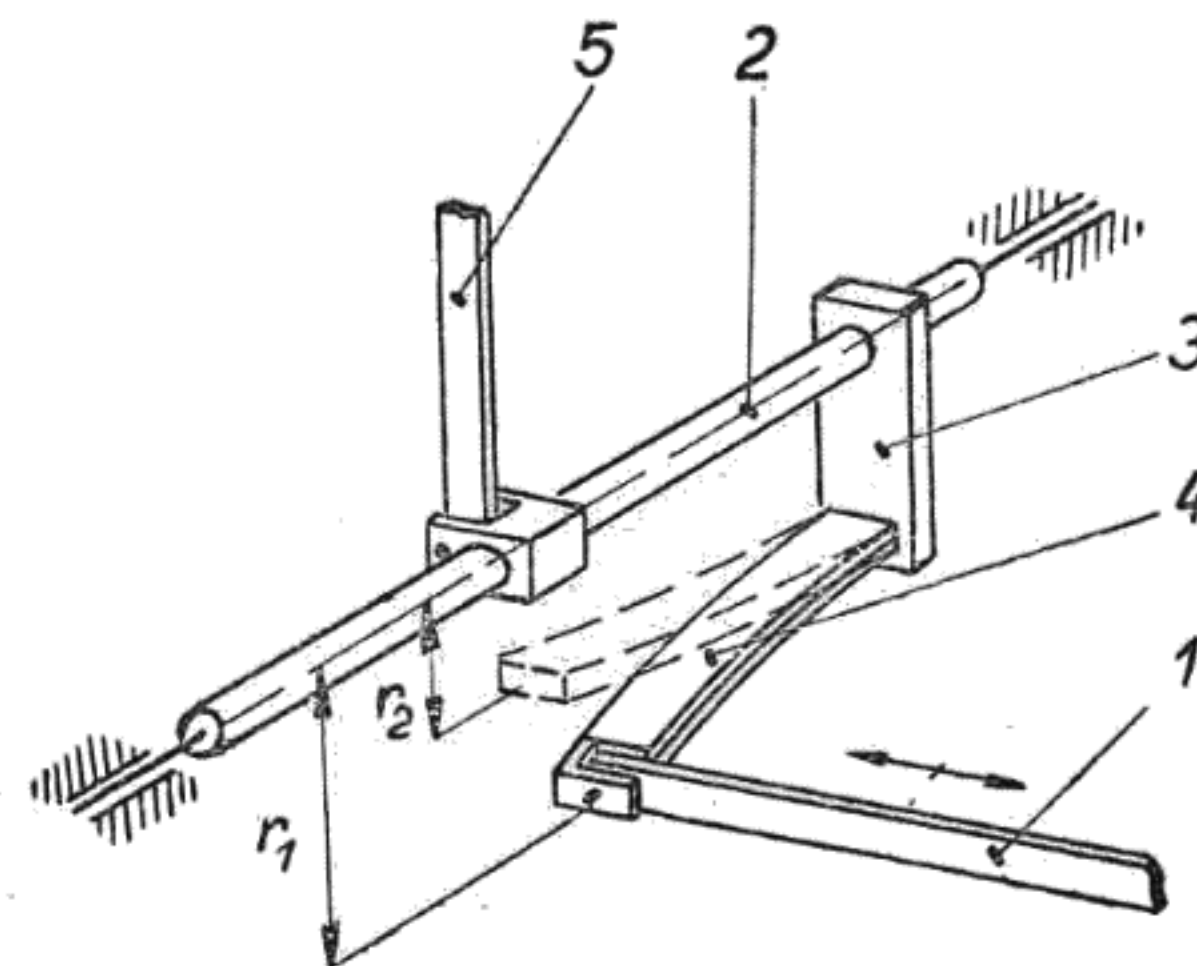
Obr. 4.7. Řez výškoměrem Fuess.

1 - pouzdro přístroje, 2 - tlakoměrné krabice, 3 - koncovka přívodu statického tlaku, 4 - převodové ústrojí, 5 - ručička, 6 - vlásek, 7 - stupnice, 8 - krycí sklo, 9 - ozubený talíř, 10 - stavěcí knoflík, 11 - nosič mechanismu přístroje, 12 - milibarová (tlaková) stupnice.

hlavní stupnice je okénko, kterým je viditelná tlaková stupnice s dělením v milibarech.

Nula stupnice je ve spodní poloze. Na čelní desce pod číselníkem je stavěcí knoflík, kterým ovládáme tlakovou (zde milibarovou) stupnici a ručičku přístroje.

Na obrázku 4.7 je řez tímto typem výškoměru. V pouzdra přístroje 1 jsou uchyceny dvě tlakoměrné krabice 2. Do pouzdra 1 je přiváděn statický tlak koncovkou 3. Pohyb volného dna tlakoměrných krabic 2 (který je zdvojnásoben tím, že je použito dvou tlakoměrných krabic) se přenáší převodovým ústrojím 4 na ručičku 5. Na hřídelce ručičky je vlásek 6, který působí svým momentem proti pohybu ručičky a proti pohybu tlakoměrných krabic a také vymezuje



Obr. 4.8. Schéma teplotní kompenzace.

1 - táhlo od tlakoměrné krabice, 2 - hřídelka, 3 - rameno, 4 - bimetalický pásek, 5 - táhlo.

vůle v převodech. Ručička ukazuje na stupnici 7, krytou krycím sklem 8.

Uvnitř pouzdra přístroje 1 je ozubený talíř 9, ovládaný stavěcím knoflíkem 10. Při otáčení stavěcím knoflíkem natáčí se ozubený talíř 9 a s ním pevně spojený celý nosič mechanismu přístroje 11. Otáčí se tedy i ručička přístroje. Zároveň se otáčí i tlaková stupnice 12, která je s nosičem mechanismu 11 pevně spojena, jak je vidět z obrázku. Funkci nastavení tlakové stupnice a ručičky jsme si již vysvětlili.

Na nákržku před krycím sklem bývají někdy pohyblivé běžce, kterými je možno označit (zachytit) některé pro nás důležité údaje ručičky, abychom si je nemuseli zapamatovávat.

Kromě toho je uvnitř pod sklem stejná značka jako značky běžců (značky jsou natřeny svítící hmotou, aby byly čitelné i za tmy). Tato značka je pevně spojena s tlakovou stupnicí, takže zachycením její polohy některým z pohyblivých běžců můžeme kdykoliv znovu nastavit výškoměr podle původních hodnot, aniž bychom si je museli po celou dobu manipulace s tlakovou stupnicí pamatovat.

Aby se na údajích přístroje neprojevovaly vlivy změn teploty na mechanismus přístroje (roztahování jeho jednotlivých částí vlivem teplotních změn) je tento výškoměr vybaven (stejně jako téměř všechny ostatní letecké přístroje) teplotní kompenzací. Kompenzační člen není v obrázku 4.7 zakreslen.

Schéma teplotní kompenzace je na obr. 4.8. Táhlem 1 se od tlakoměrných krabic převádí pohyb na hřídelku 2 přes rameno 3. Mezi ramenem 3 a táhlem 1 je bimetalický pásek (bimetal = dvojkov) 4, vzniklý spojením dvou na sebe při-

pájených pásků z kovů o různé tepelné roztažnosti. Při určité teplotě je pásek v poloze vyznačené v detailu obrázku 4.8 plně, tedy rameno táhla 1 vzhledem k ose hřídelky 2 je r_1 .

Při zvýšení teploty se vlivem různého protažení obou pásků bimetalický pásek 4 prohne do čárkované polohy. Rameno síly v táhle 1 vzhledem k ose hřídelky 2 se zmenší na r_2 . Délka bimetalického pásku je volena tak, aby změny polohy jeho konce u táhla 1 právě vyrovnaly vliv teploty, takže táhlem 5 se již odvádí pohyb opravený o vliv změny teploty na mechanismus přístroje.

Dvouručičkový výškoměr

Jeho číselník je nakreslen na obrázku 4.9. Přístroj má dvě samostatné ručičky.

Delší ukazuje stovky metrů a kratší ukazuje tisíce metrů. Stupnice je kruhová a je dělena na 10 základních dílků, označených 0, 1, ... až 9. Každý dílek znamená pro velkou ručičku změnu výšky o 100 m, pro malou ručičku změnu výšky o 1000 m. Každý hlavní dílek stupnice je rozdělen na 5 pomocných dílků, z nichž každý znamená pro velkou ručičku změnu výšky o 20 metrů.

Na obrázku 4.9 je údaj přístroje 1000 metrů.

V horní části číselníku je okénko, kterým je vidět tlaková stupnice, ovládaná spolu s ručičkou přístroje stavěcím knoflíkem. Stavěcí knoflík je umístěn na čelní desce přístroje pod číselníkem.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Výška může být buď absolutní (nad mořem) nebo relativní (nad terénem). Ve většině se užívá převážně barometrických výškoměrů. Barometrický výškoměr měří statický tlak a jeho stupnice je cejchována v jednotkách výšky (v metrech).

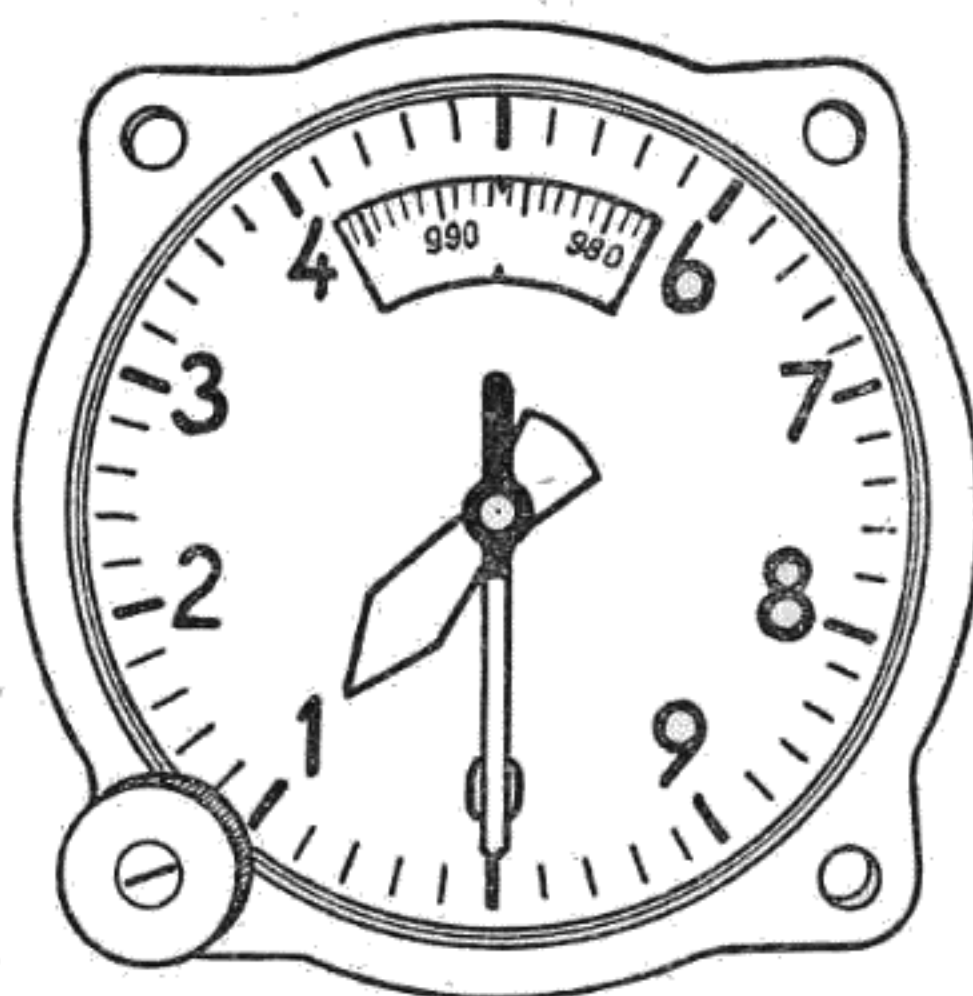
Základním prvkem barometrického výškoměru je uzavřená tlakoměrná krabice, z níž je vyčerpán vzduch. Zdvih volného dna tlakoměrné krabice se při změně tlaku (změně výšky) převodem přenáší na ručičku. Tlaková stupnice, ovládaná stejně jako ručička přístroje stavěcím knoflíkem, slouží nám pro nastavení určitého základního tlaku. Je-li nastaven na tlakové stupnici tlak přepočtený na hladinu moře, pak ručička výškoměru ukazuje nadmořskou výšku místa, kde jsme. Nastavíme-li ručičku výškoměru na letišti na nulu, přečteme na tlakové stupnici barometrický tlak, jaký je právě na letišti.

Letíme-li do oblasti nižšího tlaku vzduchu, musíme počítat s tím, že výškoměr bude ukazovat větší výšku, než skutečně máme. Výškoměry mohou být buď jednoručičkové, nebo dvouručičkové.

Kontrolní otázky

1. Od jaké hladiny měříme absolutní výšky?
2. Proč a kdy je výhodné létat podle absolutní výšky?
3. Co je to relativní výška a kdy ji užíváme?
4. Jaké typy výškoměrů znáte?
5. Jaký je princip barometrického výškoměru?
6. Nakreslete schéma barometrického výškoměru a popište jeho činnost!
7. Jaký je normální tlak na hladině moře pro podmínky podle Mezinárodní standardní atmosféry v mb a v mm Hg?
8. O kolik metrů musíme klesnout, aby se tlak zvýšil o 1 mm Hg?
9. O kolik metrů musíme klesnout, aby se tlak zvýšil o 1 mb?
10. Kde je umístěna tlaková stupnice a k čemu slouží?
11. Je-li ručička výškoměru nastavena na nadmořskou výšku letiště, jaký tlak ukazuje tlaková stupnice?
12. Nastavíme-li ručičku výškoměru na letišti na nulu, jaký tlak bude ukazovat tlaková stupnice?
13. Co je nutné si uvědomit, letíme-li do oblasti nižšího tlaku vzduchu?
14. Jak je uspořádán číselník jednoručičkového výškoměru Fuess?
15. Jak je uspořádán číselník dvouručičkového výškoměru?

Obr. 4.9. Číselník dvouručičkového výškoměru.



5. BAROGRAFY

Barograf je registrační výškoměr. Slouží jako kontrolní přístroj při rekordních nebo zkouškových letech, kdy potřebujeme mít doklad nebo dodatečnou kontrolu o průběhu letu. Přístroj zaznamenává průběh barometrického tlaku (výšky) v závislosti na čase.

Základním elementem barografu je, stejně jako u výškoměrů, jedna nebo více tlakoměrných krabic. Tlakoměrné krabice barografů jsou uzavřené a je z nich vyčerpán vzduch.

U citlivějších barografů (například meteorologických) se užívá místo tlakoměrných krabic někdy tlakoměrných měchů, jak si ukážeme později.

Zdvih tlakoměrné krabice nebo sady tlakoměrných krabic se převodem zvětšuje a přenáší na záznamní ručku, která se svým hrotem pohybuje po záznamním papíře, uchyceném na válečku hodinového stroje. Váleček hodinového stroje se otáčí.

Celkové schéma přístroje je zřejmé z obrázku 5.1. Na základní desce přístroje 1 je na můstku 2 uchycena dvojice tlakoměrných krabic 3. Při změně barometrického tlaku se tlakoměrné krabice deformují a pohyb jejich volného dna se přenáší táhlem 4 na rameno 5 a přes páku 6 na ručičku 7, která se hrotem 8 pohybuje po záznamním papíru, navinutém na válečku hodinového stroje 9. Papír je na válečku přidržován páskem 10. Rameno 11 slouží k oddálení hrotu záznamní ručky od papíru při vypnutí hodinového stroje, aby při výměně záznamního papíru nebyl hrot ručky poškozen.

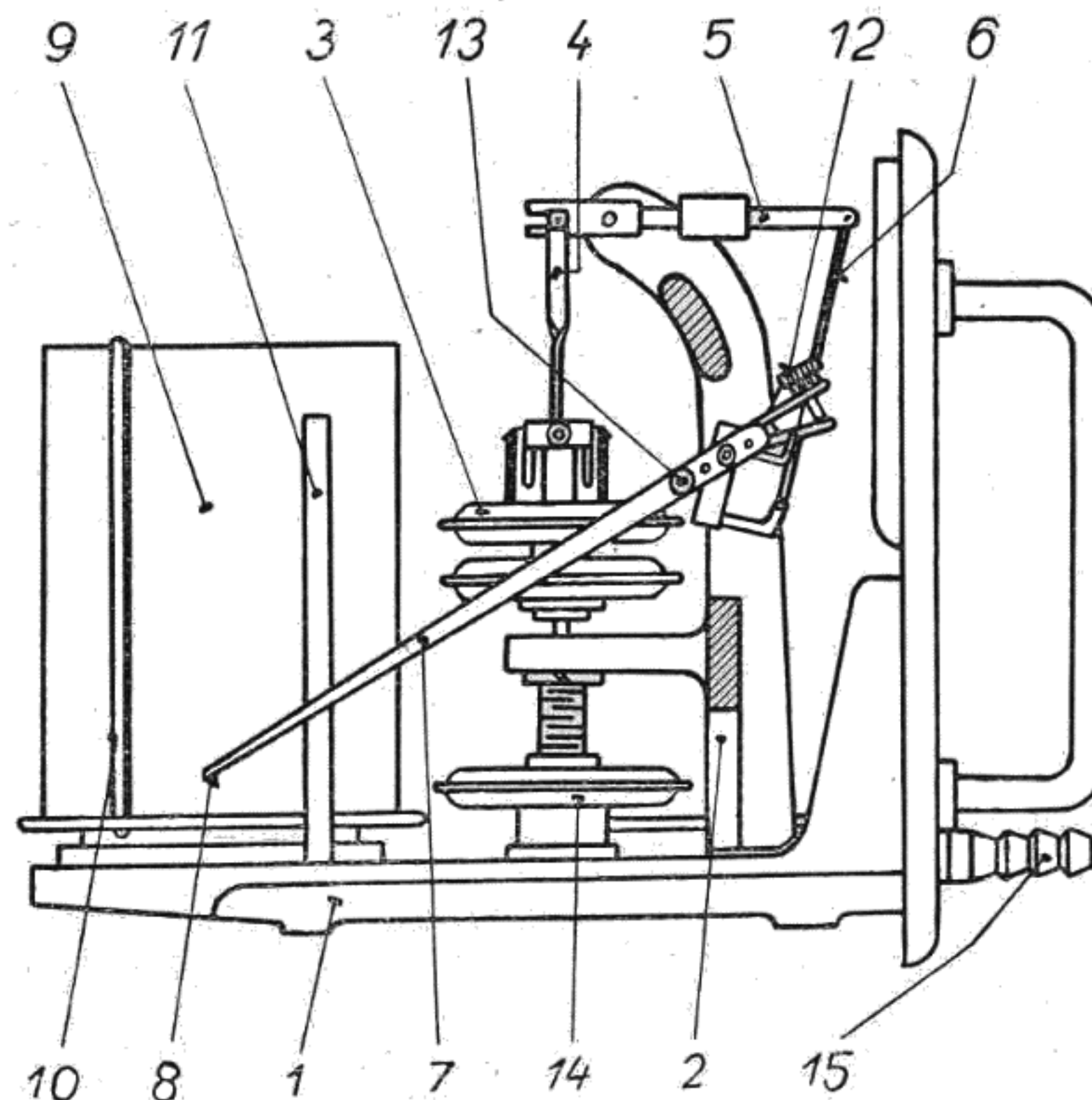
Rameno 11 je ovládáno zvenčí páčkou, kterou se zároveň vypíná nebo zapíná běh hodinového stroje. Spouštěcí páčka není na obrázku 5.1 zakreslena.

Na záznamní ručce je zřejmý šroubek 12, kterým lze měnit výškovou (základní) polohu hrotu záznamní ručky – ovšem jenom při seřizování před cejchováním barografu ve zkušebně! Tímto šroubkem nesmíme nikdy otáčet!!

Na záznamní ručce je další šroubek 13, který slouží k nastavení správné přitlačné síly hrotu ručky na záznamní papír. Správná přitlačná síla hrotu záznamní ručky na papír se má seřizovat nebo kontrolovat před každým užitím barografu. Jak se toto seřízení provádí, povíme si později. Seřizováním správné přitlačné síly nemění se ni-

jak cejchovní hodnoty přístroje a naopak je velmi důležité pro správnou činnost barografu. Lze ovšem doporučit, aby toto seřizování prováděl jen sportovní komisař nebo odborník.

Z obrázku 5.1 je zřejmá též kompenzační tlakoměrná krabice 14, do které je přiváděn statický tlak a která vyrovnává případný rozdíl



Obr. 5.1. Schéma barografu.

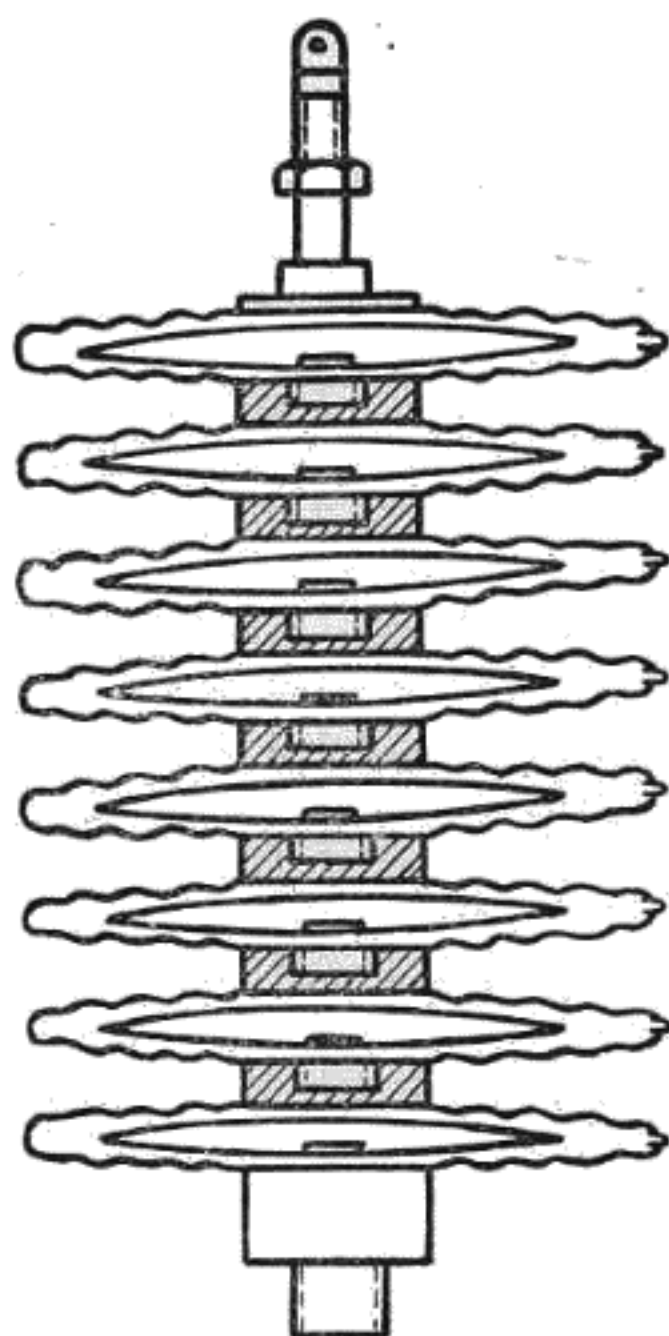
1 – základní deska přístroje, 2 – můstek, 3 – tlakoměrné krabice, 4 – táhlo, 5 – rameno, 6 – páka, 7 – ručička, 8 – záznamní hrot ručičky, 9 – váleček hodinového stroje, 10 – přidržovací pásek, 11 – oddalovací rameno ručky, 12 – šroubek pro změnu základní polohy hrotu ručky, 13 – šroubek pro nastavení správné přitlačné síly hrotu ručky na papír, 14 – kompenzační tlakoměrná krabice, 15 – přívod statického tlaku.

mezi tlakem v neutěsněném pouzdru přístroje (tj. vlastně tlakem v pilotní kabině) a správným statickým tlakem. 15 je přívod statického tlaku.

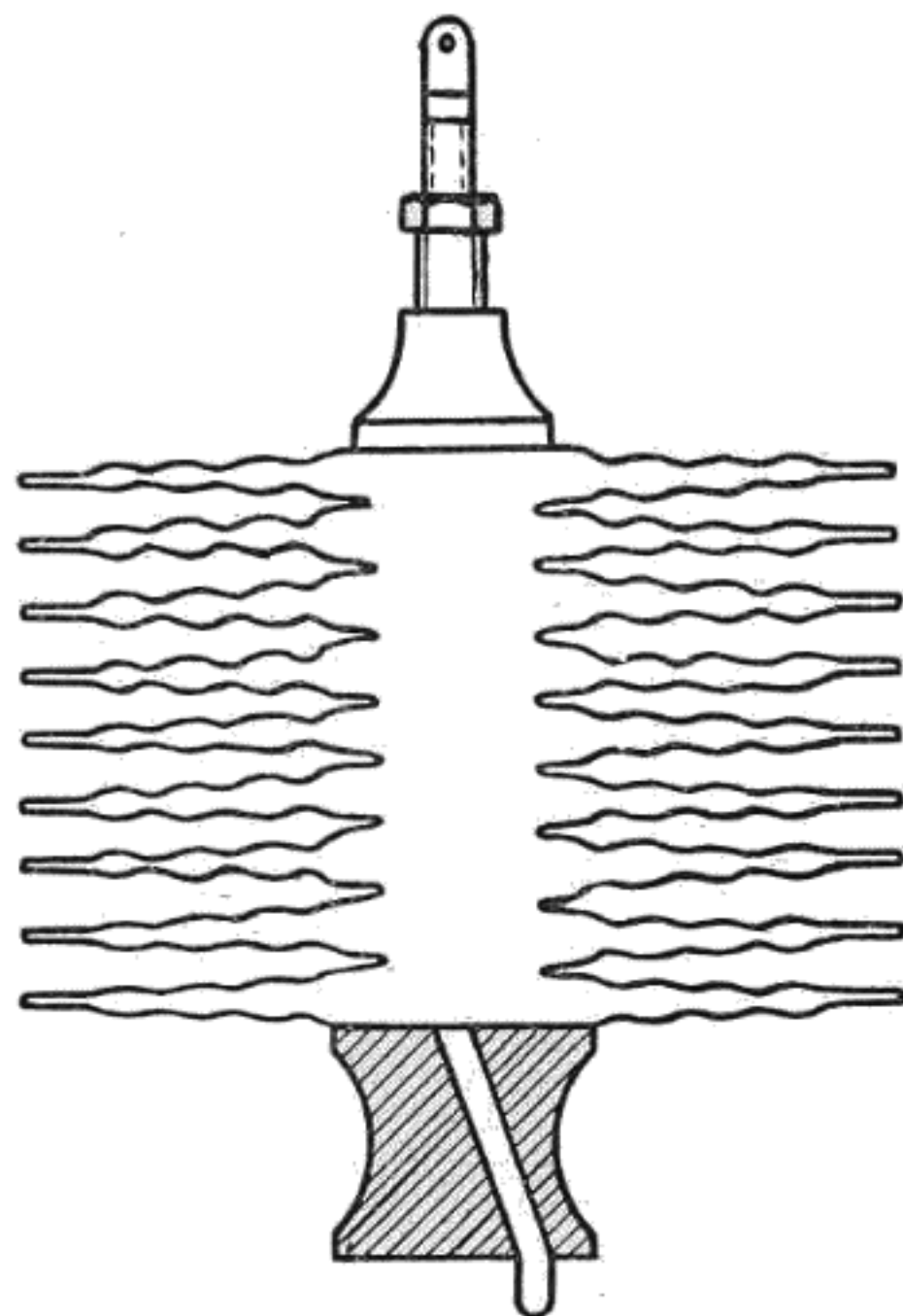
Pro barografy se užívá jedné nebo více tlakoměrných krabic. Více krabic se používá proto, aby se dosáhlo většího celkového zdvihu krabic pro stejný tlakový rozdíl a také proto, že je nutné mít k dis-

pozici větší energii tlakoměrných krabic, protože se musí přemáhat kromě odporů v převodech ještě odpor záznamní ručky po záznamním papíře.

Pro barografy, kterých užíváme ve větroních, se nejčastěji užívá dvou tlakoměrných krabic, jak vidíme například i v obrázku 5.1.



Obr. 5.2. Baterie tlakoměrných krabic.



Obr. 5.3. Tlakoměrný měch.

Na obrázku 5.2 vidíme baterii osmi tlakoměrných krabic, kterých se používá pro citlivější (například meteorologické) barografy.

Pro meteorologické barografy se často užívá tlakoměrného měchu, jaký je uveden na obrázku 5.3.

Meteorologickým barografem se zaznamenává průběh barometrického tlaku vzduchu v závislosti na čase v meteorologických stanicích.

Tlakoměrný měch je vlastně několikanásobnou tlakoměrnou krabicí.

U převážné většiny barografů je do převodu pohybu tlakoměrné krabice na ručičku zařazena teplotní kompenzace. Tento člen je tvořen bimetalem, který se při změnách teploty prohýbá a tím mění převod některého členu mechanismu a vyrovnává tak vliv změn teploty na mechanismus přístroje.

Funkci bimetalu si popíšeme v kapitole 13.

Záznam je možno provádět buď inkoustem na bílý papír, nebo hrotem záznamní ručky na začazený papír. Záznamu hrotem na začazený papír se používá mnohem častěji.

Při záznamu inkoustem je na konci záznamní ručky pero ve formě žlábků, ve kterém je zároveň určitá zásoba inkoustu. Při pohybu pera po záznamním papíru (užívá se většinou papíru s předtiskem výškové a časové stupnice) zanechává pero za sebou slabou čáru. Pro plnění pera záznamní ručky se užívá tzv. neschnoucího inkoustu, což je normální inkoust s přísadou glycerínu. Čára se vlastně vpije do záznamního papíru, který musí být kvalitní a speciální pro tento případ.

Záznam inkoustem má však několik nepříjemných vlastností. Inkoust po určité době přece jen zasychá (zvláště v případě, že nebylo záznamní pero delší dobu čištěno), ve výšce zamrzá a jeho vyčerpání uprostřed letu let znehodnotí.

Pro tyto nevýhody se dnes téměř výhradně v letadlech užívá záznamu hrotem na začazený papír.

Záznamní hrot je umístěn na konci záznamní ručky místo pera, které jsme si právě popsali, nebo záznamní hrot tvoří přímo přibroušený hrot pera.

Záznamní hrot se pohybuje po začazeném bílém papíru, takže za sebou zanechává bílou čáru v černém okolí.

Tento druh záznamu je při správném seřízení tlaku hrotu na papír a správného zbroušení hrotu velmi dobře čitelný.

Je ovšem nutné saze na papíru po skončeném letu fixovat fixativem, jak si uvedeme dále.

Celý přístroj je uzavřen do poudra, které bývá u některých typů barografů vzduchotěsně uzavřeno. Aby bylo dosaženo správného údaje přístroje, tj. aby tlak uvnitř přístroje byl stejný jako barometrický tlak okolního vzduchu, tj. stejný jako barometrický tlak místa, kde s letadlem právě jsme, je vnitřní prostor přístroje u většiny typů barografů vyveden nástavcem pro přípojku přívodu statického tlaku.

Barografy, které nemají utěsněné pouzdro ani přívod statického tlaku do pouzdra přístroje, budou tedy registrovat změny tlaku prostoru, v němž přístroj je, například v kabině letadla. Tlak v kabině letadla je však většinou odlišný od správného statického tlaku okolí i u otevřených kabin, kde je tlak vždy poněkud menší než statický tlak okolního vzduchu.

Některé typy barografů mají kompenzační tlakoměrnou krabici, do které se přivádí statický tlak a která kompenzuje rozdíly tlaku uvnitř přístroje proti správnému statickému tlaku. Takovou kompenzační tlakoměrnou krabici má například barograf, který jsme si popsali v obrázku 5.1.

Hodinové strojky leteckých barografů mají obvykle tři stupně rychlosti posuvu papíru. Ta je dána oběžnou dobou válečku hodinového strojku a bývá 2, 4 a 10 hodin.

Nejčastěji se používá oběžné doby 10 hodin, protože většina letů netrvá delší dobu. Celý záznam bude tedy na ploše papíru a nedojde k přechodu hrotu záznamní ručky přes přítlačný pásek.

Kratších oběžných dob se používá pro vysloveně krátké lety, například pro zkouškové lety, kdy požadujeme lepší rozlišovací schopnost záznamu.

Rozsah oběžné doby válečku se přestavuje páčkou na spodní straně základní desky přístroje po vyjmutí přístroje z pouzdra.

Hodinový strojek natahujeme natahovací klíčkou, která je rovněž na spodní straně základní desky přístroje. Pero hodinového strojku natahujeme rovněž po vyjmutí přístroje z pouzdra.

Po natažení pera hodinového strojku se přesvědčíme, zda jsme náhodou nepohnuli přestavovací páčkou oběžné doby, protože tato páčka je v blízkosti natahovací klíčky.

Rozsahy leteckých barografů

Rozsahy barografů, užívaných ve větroních, jsou:

0—1000 metrů, 0—3000 metrů, 0—6000 metrů, 0—10 000 metrů a 0—15 000 metrů.

Nejvíce se užívá barografu s rozsahem 0—6000 metrů.

Umístění barografu v letadle

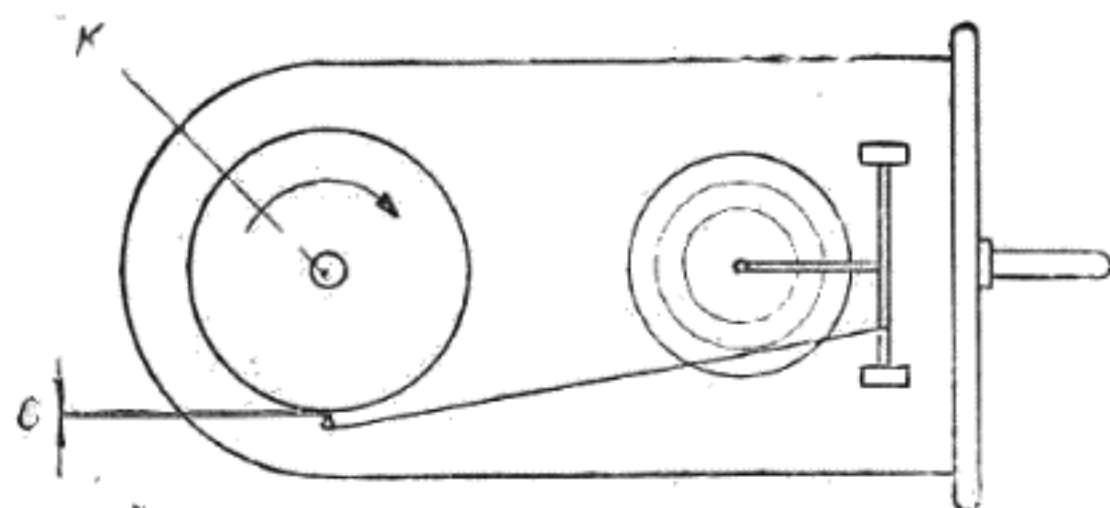
Ve větroni je možno umístit barograf kdekoliv, nejlépe ovšem do prostoru, který je pro něj v některých větroních vyhrazen. Barograf musíme umístit tak, aby netrpěl otřesy. Proto ho uchytíme popruhy na měkké podložce nebo jej alespoň zabalíme do měkké látky a těsně umístit na vyhrazené místo.

Přístroj musí být v letadle vždy v normální poloze, tj. v poloze na základní desce přístroje (tak jako na obrázku 5.1), protože v této poloze byl cejchován a pro tuto polohu je nastavena správná přítlačná síla záznamní ručky na papír.

Probereme si nyní některé metody zacházení s barografem, kterými se musíme při jeho užívání řídit.

Seřízení správné přítlačné síly záznamní ručky

Správnou přítlačnou sílu záznamní ručky na záznamní papír seřizujeme tak, že vyjmeeme přístroj z pouzdra a při zapnutém hodinovém strojku (tedy při provozní poloze záznamní ručky vzhledem k záznamnímu papíru), otočíme přístroj na bok podle obrázku 5.4.



Obr. 5.4. Seřízení správné přítlačné síly záznamní ručky.

V této poloze přístroje musí hrot záznamní ručky právě zlehka doléhat na papír nebo jinak řečeno: musí právě začínat odléhat od záznamního papíru, jak je vyznačeno v obrázku 5.4. Není-li tomu tak, musíme správnou polohu hrotu vzhledem k záznamnímu papíru nastavit regulačním šroubkem, který jsme si v obrázku 5.1 označili 13.

Přesvědčíme se ještě otáčením bubínku ve směru šipky na obrázku 5.4, zda nastavená poloha ručky vzhledem k záznamnímu papíru platí pro celý obvod válečku, tj. zda váleček hodinového strojku se záznamním papírem „nehází“. Není-li tato podmínka splněna, musíme váleček vyměnit za nepoškozený.

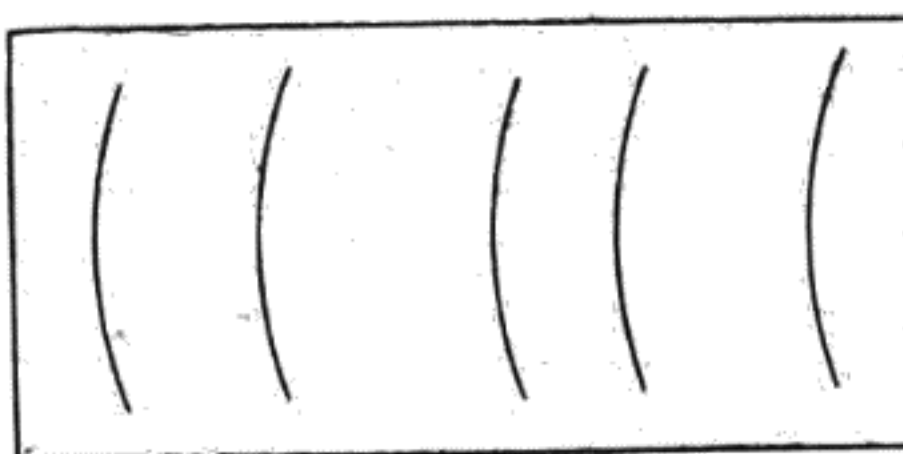
Kontrola doléhání záznamní ručky v celém rozsahu

Doléhání hrotu záznamní ručky v celém rozsahu tlakové i časové stupnice kontrolujeme tím, že při spuštění hodinového strojku tlakem na šroubek 12 (podle obrázku 5.1) způsobíme, že záznamní ručka zapíše čáru v celém rozsahu tlakové (výškové) stupnice. Přístroj takto zkusíme v normální poloze, tj. v poloze, jaká je například na obrázku 5.1.

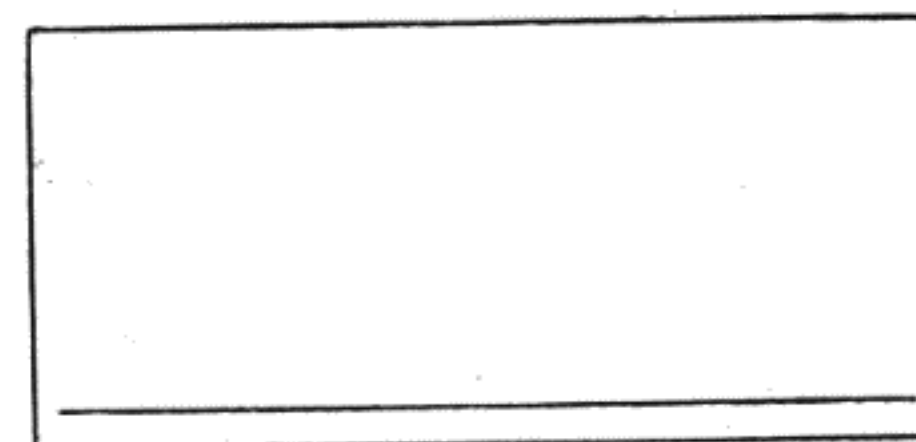
Pak pootočíme válečkem se záznamním papírem asi o šestinu až čtvrtinu otáčky a zkoušku opakujeme. Tak pokračujeme přes celý obvod válečku, takže dostaneme záznam obdobný obrázku 5.5.

Jsou-li všechny oblouky zapsány stejně silně a bez přerušení, máme jistotu, že se záznam během letu vlivem nedoléhání záznamní ručky na papír v některém místě nepřeruší.

Abychom vyloučili vliv špatného dosednutí záznamního papíru na spodní osazení válečku hodinového strojku, kreslíme někdy (zvláště v případě, že půjde o důležitý rekordní let) základní čáru záznamu.



Obr. 5.5. Kontrola doléhání záznamní ručky v celém rozsahu papíru.



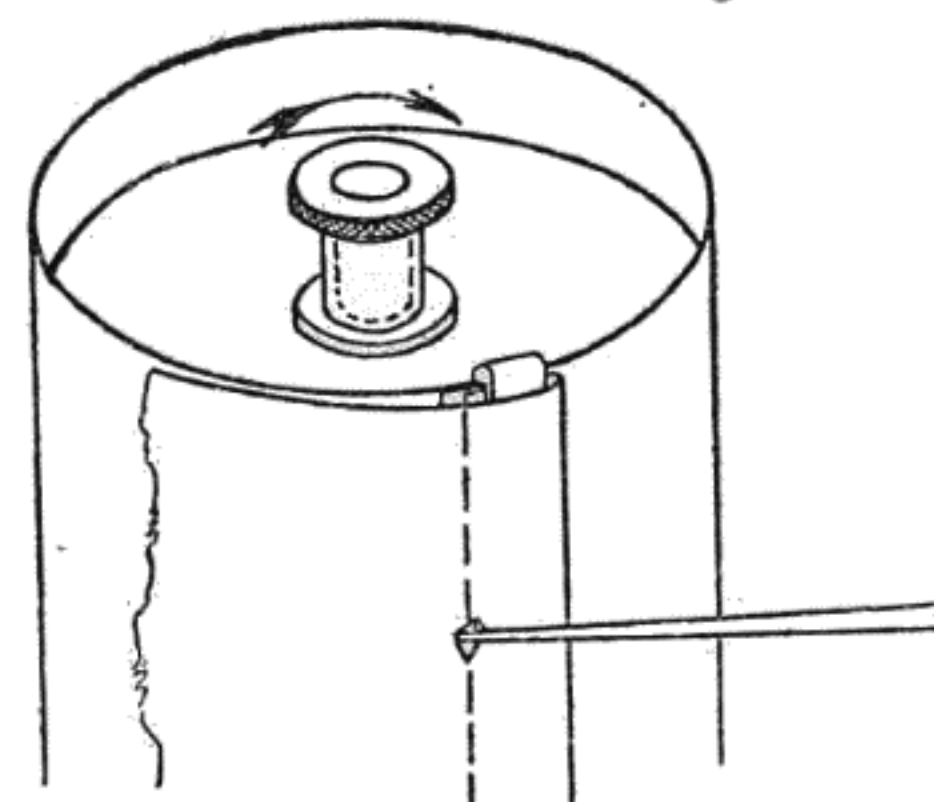
Obr. 5.6. Zápis základní čáry záznamu.

Spustíme hodinový stroj přístroje a v základní poloze barografu, tj. když stojí na základní desce, jako v obrázku 5.1, zvolna otáčíme válečkem hodinového stroje za kolečko, které je v obrázku 5.4 označeno „K“. Záznamní ručka zapíše základní čáru, jak vidíme na obrázku 5.6.

U některých typů barografů kreslí základní čáru zvláštní záznamní ručka.

Správné uchycení záznamního papíru na váleček hodinového strojku

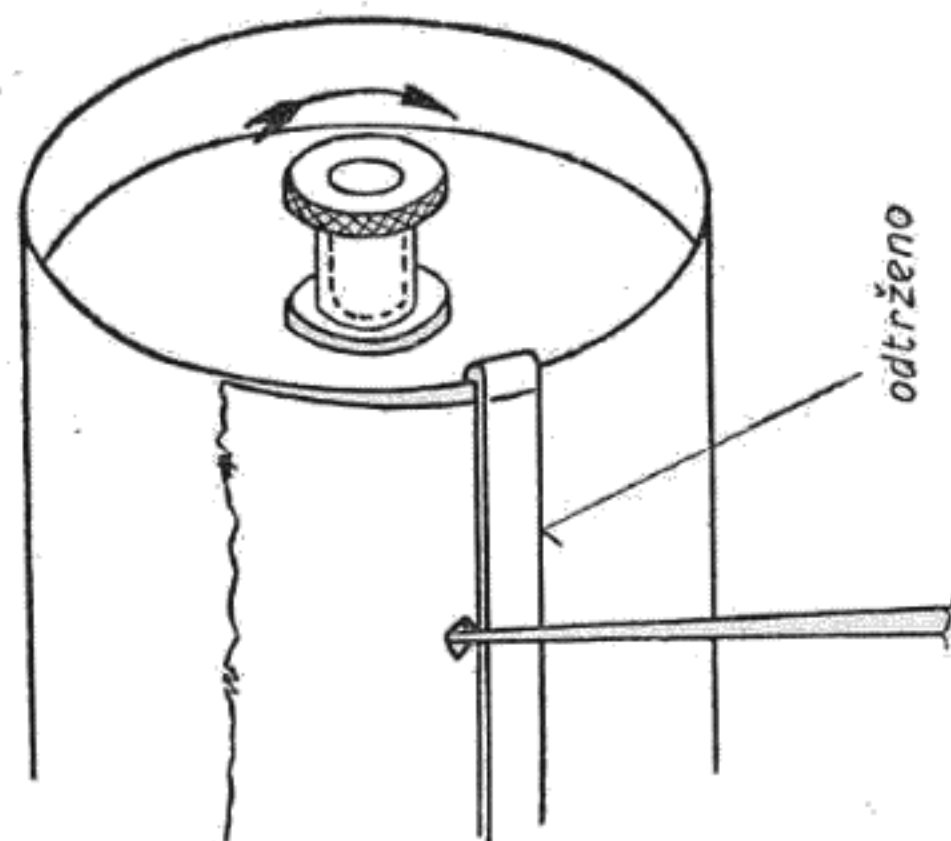
Jeden způsob správného uchycení záznamního papíru na váleček hodinového strojku vidíme na ob-



Obr. 5.7. Uchycení konce záznamního papíru přehybem.

rázku 5.7. Tohoto způsobu užíváme hlavně u těch typů barografů, u kterých je přítlačný pásek papíru (na obrázku 5.1 označený 10) vysouvateľný.

Záznamní papír navineme kolem válečku hodinového strojku tak, aby svým spodním okrajem dosedl na osazení válečku. Volný konec přehneme a založíme pod přítlačný pásek. Konec záznamního papíru je nutné zajistit podle obrázku 5.7 správně i co do smyslu, protože přehnutím se má zabránit zadrhnutí hrotu záznamní ručky při eventuálním přejezdu přes přítlačný pásek.



Obr. 5.8. Uchycení konce záznamního papíru s odtržením přebytečného konce.

Druhého způsobu, který schématicky znázorňuje obrázek 5.8, užíváme v tom případě, že přítlačný pásek je pouze odklopný kolem čepu ve spodní části válečku hodinového strojku.

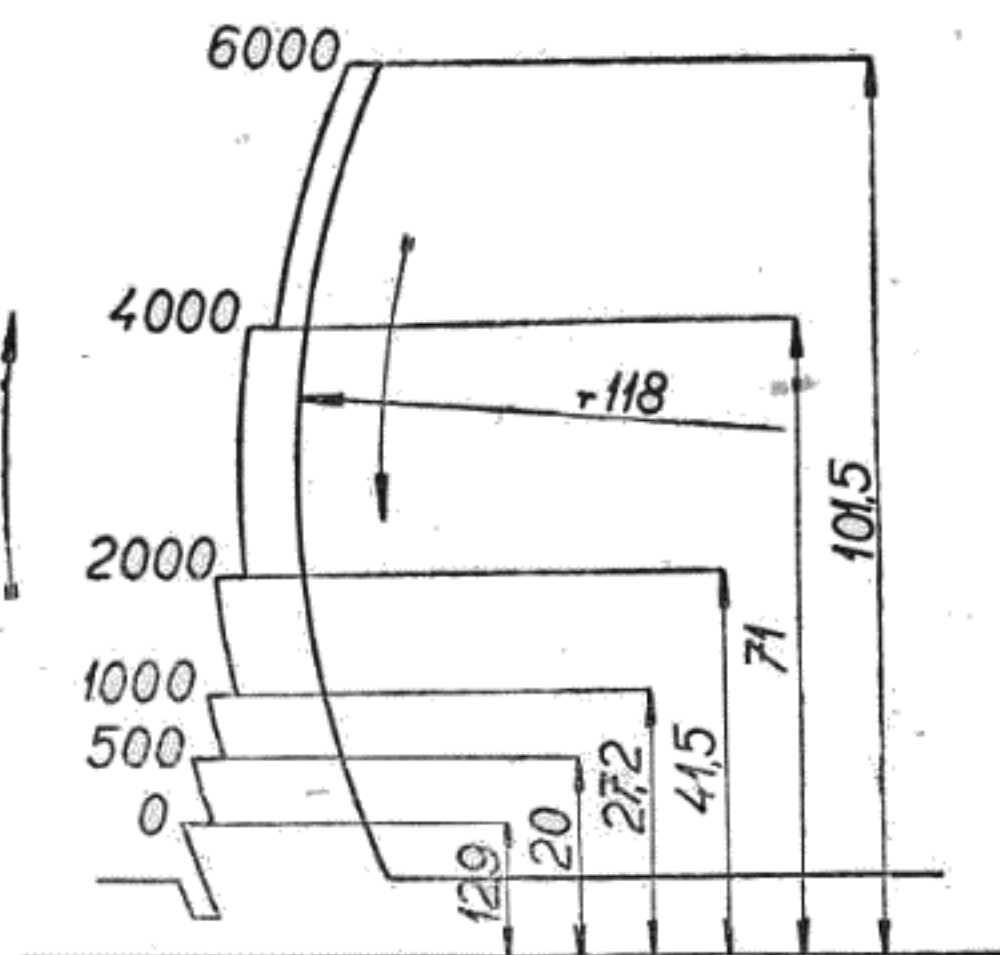
Záznamní papír navineme kolem válečku hodinového strojku stejně jako při předchozím způsobu uchycení, který jsme si právě probrali. Přebývajícím papírem odtrhneme podle přítlačného pásku, jak je naznačeno na obrázku 5.8. Při přejíždění hrotu záznamní ručky je pak ovšem nebezpečí, že se poškodí o hranu přítlačného pásku. Proto je hrana přítlačného pásku sražena, aby přejíždění bylo snadnější.

V každém případě se ovšem snažíme, aby záznamní ručka vůbec nepřejela přítlačný pásek, tj. volíme tak dlouhou oběžnou dobu válečku, aby byla vždy delší než plánovaný let.

V obou případech uchycení záznamního papíru na váleček hodinového strojku dbáme toho, aby papír doléhal těsně po celém obvodu válečku. O tom se ostatně přesvědčíme také při kontrole správné přítlačné síly záznamní ručky, kterou jsme si již popsali.

Vyhodnocování záznamu

Každý barograf musí být pravidelně jednou ročně cejchován v laboratoři. Přístroj se cejchuje tak, že se vloží do podtlakové komory, z níž vývěva postupně odčerpává vzduch, tedy snižuje tlak. Tlak v podtlakové komoře se kontroluje přesným laboratorním rtuťovým barometrem. Podle tohoto barometru jsou v podtlakové komoře nastavovány postupně tlaky, odpovídající tlakům v určité



Obr. 5.9. Cejchovní záznam barografu.

výšce. Nastavuje se podle podmínek Mezinárodní standardní atmosféry. Při cejchování v podtlakové komoře se nastaví hodinový strojek na krátkou oběžnou dobu.

Při každém nastavení tlaku (určité výšce) nechá se zaznamenat krátká vodorovná čára, takže dostaneme záznam, jaký uvádí obrázek 5.9.

V obrázku 5.9 je záznam z cejchování, při kterém se tlaky příslušně nastavovaly jen při „stoupání“. Většinou se nastavují předepsané tlaky i při „sestupu“.

Na obrázku 5.9 je cejchovní záznam barografu s rozsahem do 6000 metrů. Skok „pod nulu“ se provádí proto, aby nastavování všech tlaků bylo v jednom smyslu, tedy zdola.

Výsledek cejchování je potom vyneseno do diagramu, kde je závislost odečtené výšky záznamu od okraje záznamního papíru, nebo od základní čáry, označený mmP (milimetry pásky) a přepočtené výšky podle podmínek Mezinárodní standardní atmosféry.

Příklad takového diagramu, vyhodnoceného z cejchovní křivky, uvedeného v obrázku 5.9, vidíme na obrázku 5.10.

Tento diagram nám potom slouží pro vyhodnocení záznamu barografu z letu.

I když vlastní vyhodnocování musí provádět sportovní komisař, popíšeme si postup této práce, abychom si eventuálně mohli sami podrobněji záznam dodatečně vyhodnotit, nebo abychom mohli sportovnímu komisaři pomáhat v jeho práci.

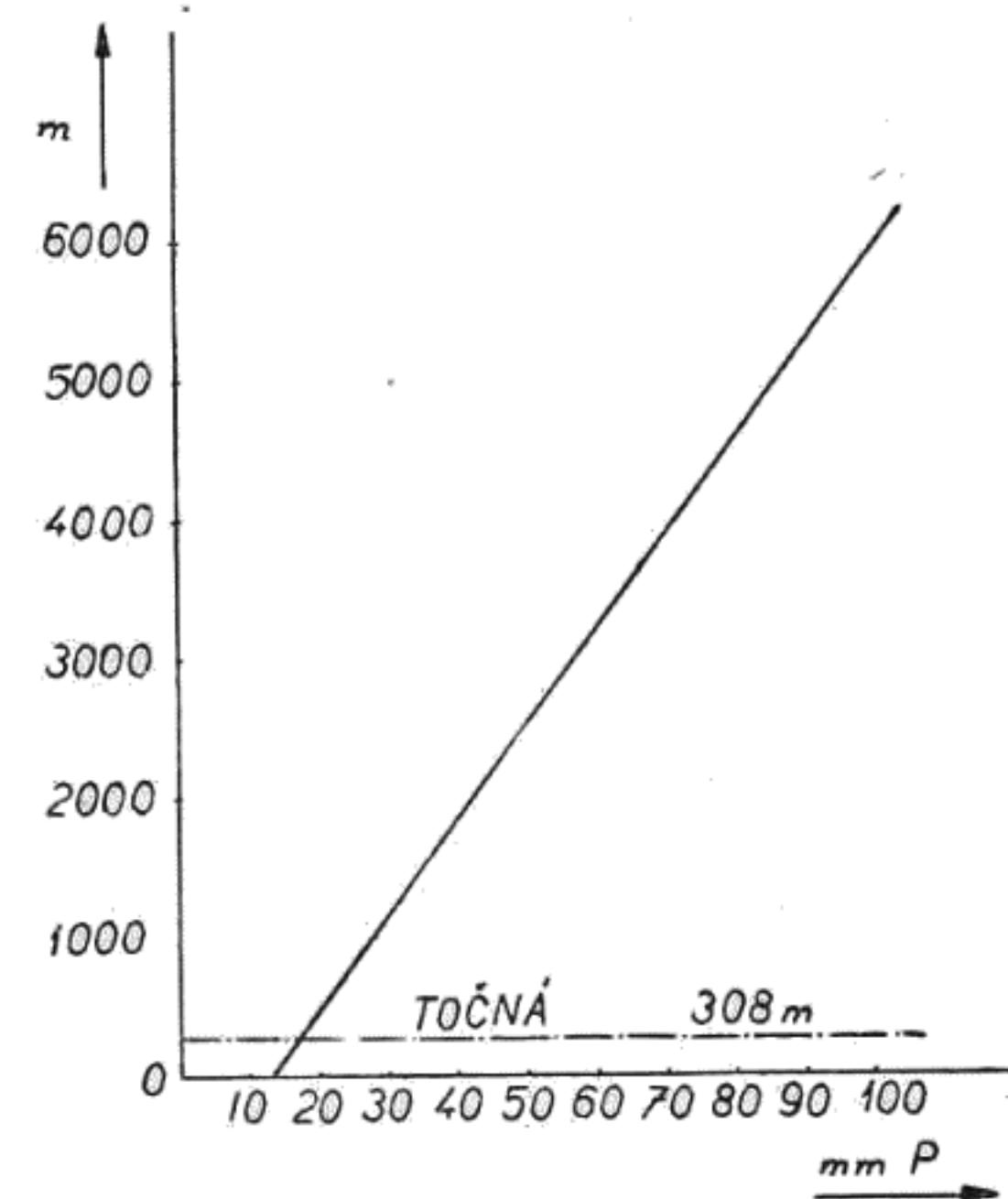
Na obrázku 5.11 je uveden příklad záznamu z letu s barografem, jehož cejchovní křivku jsme si uvedli na obrázku 5.9 a jeho cejchovní diagram na obrázku 5.10.

Přesvědčili jsme se, že základní čára je po celém rozsahu záznamu stejně vysoko nad spodním okrajem záznamního papíru (7,2 mm), proto můžeme bez přepočítávání odečítat milimetry záznamu (mmP) od spodního okraje záznamního papíru.

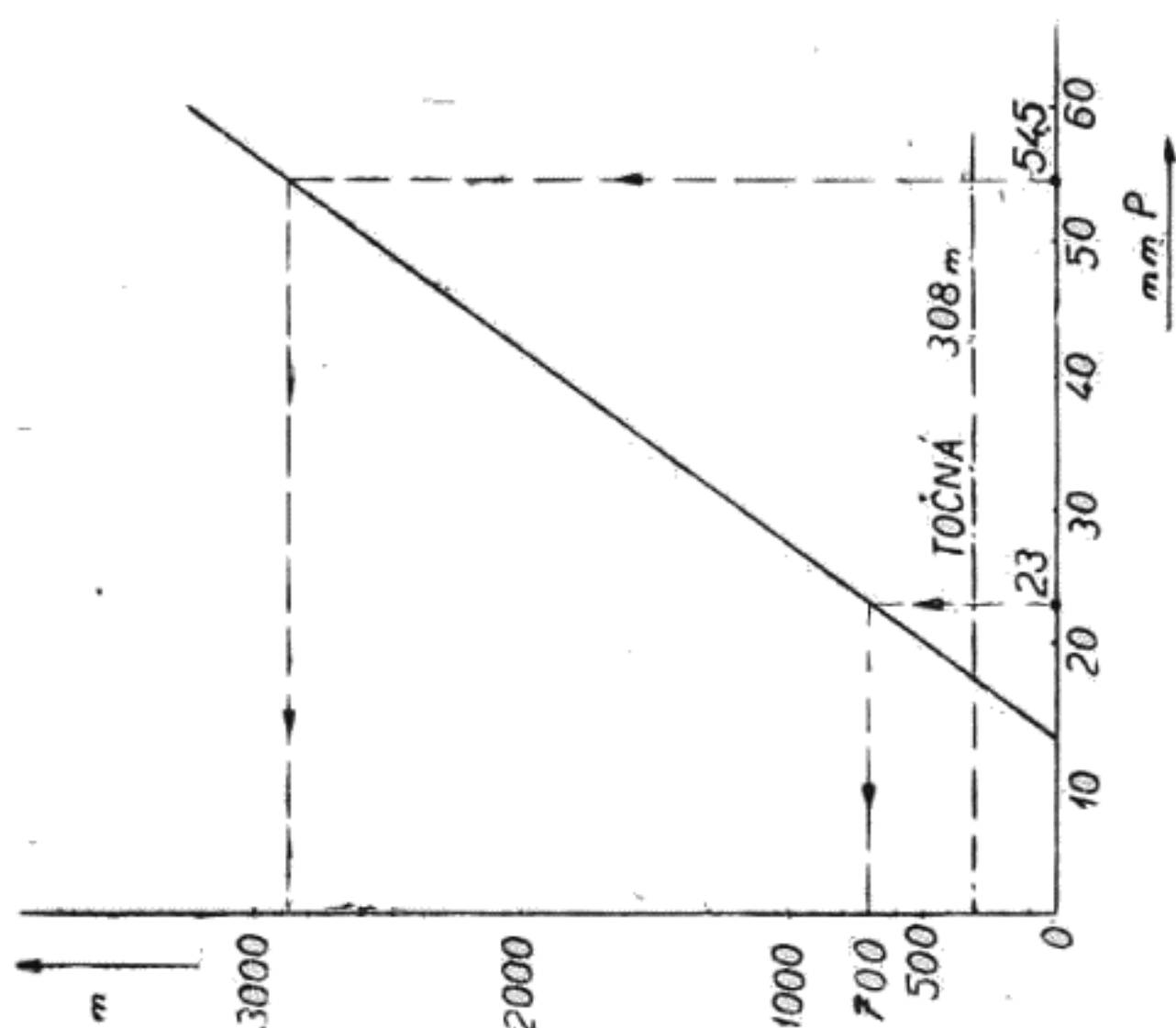
Chceme-li znát převýšení letu, tj. rozdíl mezi maximálně dosaženou výškou a minimální výškou volného letu po vypnutí, odečteme ze záznamu nejvyšší bod (tj. 54,5 mmP) a nejnižší bod předchozího volného letu (tj. 23 mmP).

Z cejchovního diagramu, který si znovu uvedeme na obrázku 5.12, vyhodnotíme převýšení.

Pro nejnižší bod, tj. 23,0 mmP odečteme výšku 700 metrů, pro nejvyšší bod, tj. 54,5 mmP odečteme výšku 2825 metrů.

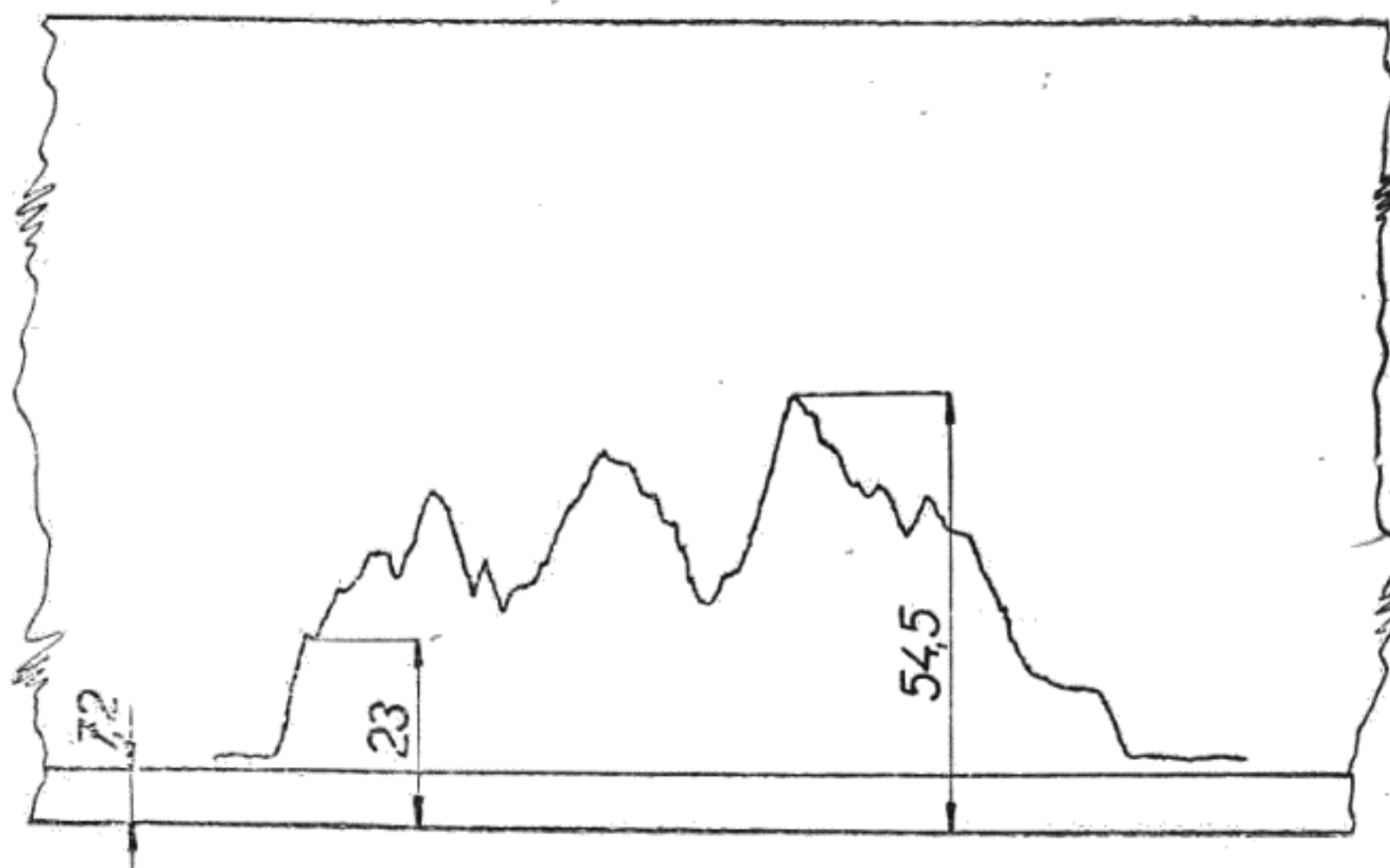


Obr. 5.10. Cejchovní diagram, vyhodnocený z cejchovní křivky.



Obr. 5.12. Vyhodnocení převýšení z cejchovního diagramu.

Obr. 5.11. Záznam barografu z letu.



Rozdíl výšek je $2825 - 700 = 2125$ metrů.

Převýšení, kterého jsme během letu dosáhli, je tedy 2125 metrů.

Všimli jsme si, že pro vyhodnocování převýšení odečítáme spodní okraj zoubku záznamu po vypnutí (hodnotu 23 mmP), protože zjišťujeme převýšení, tj. rozdíl výšek ve volném letu.

Při hodnocení přeletu se naopak odečítá horní okraj zoubku záznamu po vypnutí, protože přelet může být uznán jen tehdy, jestliže rozdíl výšky místa přistání a bodu vypnutí (nejvyššího bodu ve vleku) je menší než jedno procento uletěné vzdálenosti!

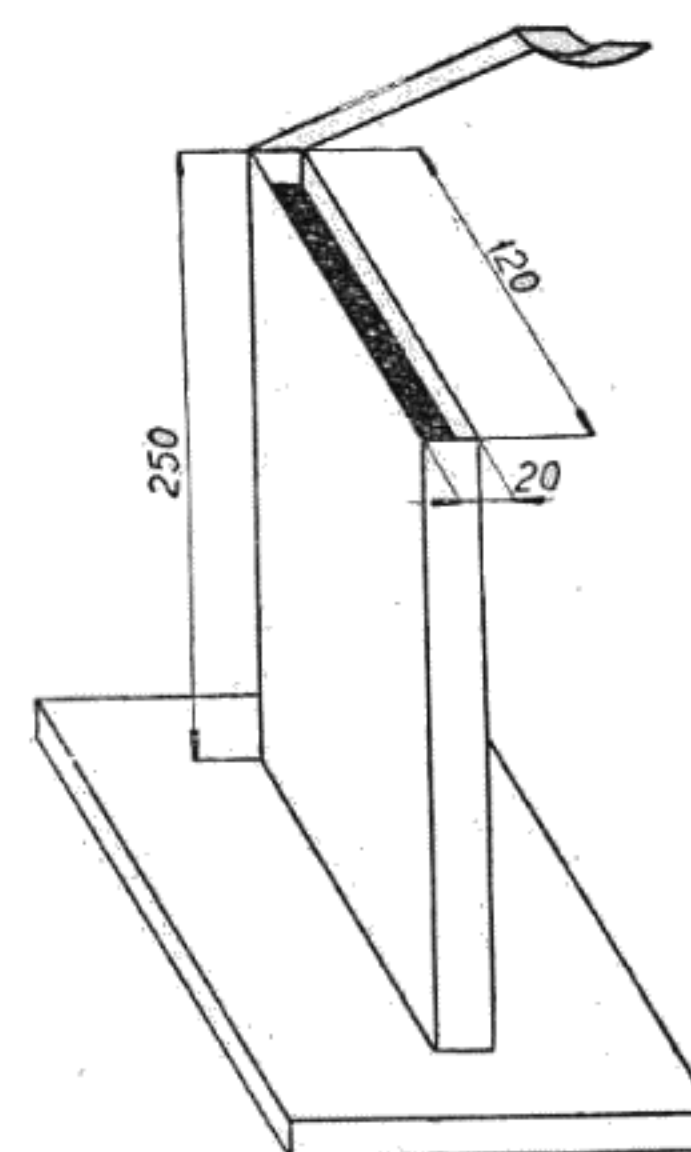
Začazení záznamního papíru

Záznamní papír začazujeme nad speciálním kahanem se širokým knotem, plněným směsí petroleje a oleje. Načazená vrstva sazí nesmí být silná, aby se saze před hrotem záznamní ručky nehrnuly.

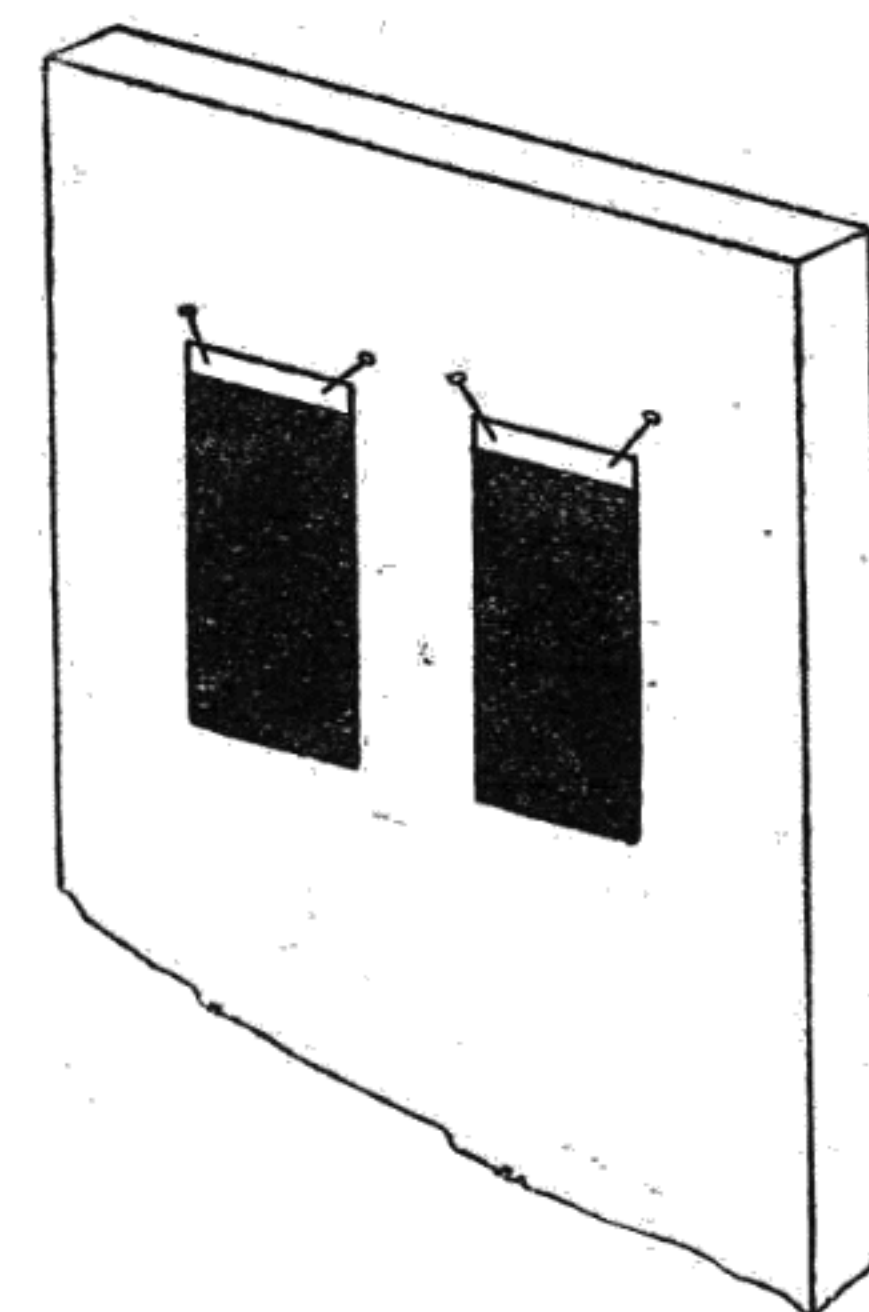
Fixování vrstvy sazí na záznamním papíru

Dříve, než můžeme vyhodnocovat záznam z letu, prováděný hrotem na začazený papír, musíme vrstvu sazí na záznamním papíru fixovat, abychom ji nesetřeli.

Pro fixování vrstvy sazí na záznamním papíru užíváme buď celonového laku nebo fixativu, který vyrábí n. p. Foma.



Obr. 5.13. Nádobka na vyvolávání záznamu barografu na začazený papír.



Obr. 5.14. Správné zavěšení záznamu při schnutí fixativu.

Složení fixativu Foma:

Octan amylnatý	36,2 %,
benzol	36,2 %,
aceton	25,3 % a
nitrocelulosa	2,3 %.

Fixativ nalejeme buď do fotografické misky, ve které potom záznam fixujeme, nebo do speciální nádoby k tomu účelu vyrobené. Rozměry a tvar vyvolávací nádoby jsou zřejmé z obrázku 5.13.

Užití speciální nádoby má tu výhodu, že je v ní možno fixativ trvale ponechat, protože víčko s gumovým těsněním chrání fixativ před zaschnutím, případně zasychá při delším nepoužívání jen malá plocha fixativu, která přichází do styku se vzduchem. Takto vzniklou usazeninu můžeme pak snadno odstranit.

Při vlastním fixování záznamu záznamní papír opatrně sejme z válečku hodinového strojku a vsuneme ho do nádoby s fixativem a hned zase vysuneme.

Fixovaný záznam zavěsíme na svislou desku a přichytíme špendlíky, jak vidíme názorně z obrázku 5.14.

Až do úplného zaschnutí fixativu na záznamním papíru papírem nepohybujeme, ani jej neotáčíme.

Po zaschnutí fixativu můžeme potom záznam vyhodnotit.

Pravidla pro užívání barografů

V závěru této kapitoly si ještě uvedme nejdůležitější pokyny a pravidla pro užívání barografů.

1. Přístroj zasouváme do pouzdra nebo vysouváme vždy při zapnutí hodinového strojku (záznamní ručce přitlačené na záznamní papír), aby – zvláště při zasouvání – konec ručky nezachytil o některý výstupek krytu (pouzdra) přístroje. Dojde-li přece jenom k poškození, musí být vždy přístroj znovu přecejchován.

2. Před každým letem se přesvědčíme, zda již není záznamní papír popsán z předchozího letu.

3. Po nasazení nového záznamního papíru a nasazení válečku s papírem do přístroje se přesvědčíme, zda váleček správně „sedí“, tj. zda zapadlo zvýšené dno válečku svými otvory do polohových kolíků a dotáhneme pojišťovací matku, v obrázku 5.4 označenou „K“. Váleček natočíme ve směru šipky (podle obrázku 5.4) tak, aby začátek záznamu byl asi 10 mm vpravo od přitlačného pásu. Správné zasazení válečku na těleso hodinového strojku zkontrolujeme tím, že se snažíme válečkem pohybovat nahoru a dolů. Tím zjistíme, zda zvýšené dno válečku skutečně pevně sedí na tělesu hodinového strojku.

4. Zkontrolujeme správnou přitlačnou sílu záznamní ručky, doléhání záznamní ručky na papír v celém rozsahu tlakové i časové stupnice, případně zapíšeme základní čáru.

5. Zkontrolujeme dostatečné natažení hodinového strojku a správnou polohu přepínací páčky rozsahů oběžné doby.

6. U barografů písících inkoustem přezkontrolujeme dostatečnou zásobu inkoustu a zda inkoust v peru nezaschl.

7. Před každým rekordním letem musí být barograf zaplombován sportovním komisařem.

8. Let vyhodnocuje pouze sportovní komisař s oprávněním. Rekordní let vyhodnocuje pouze sportovní komise Ústředního výboru Svazarmu, kam se musí celý zaplombovaný barograf se záznamem z rekordního letu odeslat.

9. Jsou zakázány jakékoliv opravy nebo úpravy barografů na letišti i jakékoliv mazání ložisek, převodů apod.

10. Po přistání necháme barograf ještě asi 5–15 minut běžet, aby se zapsala výšková čára bodu přistání (sloužící například pro vyhodnocení výšky vypnutí nad výškou místa přistání).

11. Po skončení letu zapíšeme všechna základní data o letu, tj. datum letu, jméno pilota (pilotů), meteorologickou situaci letového dne, typ a imatrikulační značku letadla, místo startu, místo přistání, čas startu, čas vypnutí a čas přistání, typ barografu, rozsah barografu, užitou oběžnou dobu, číslo barografu, druh vleku. Všechna tato data napíšeme na kartičku a vložíme do celuloidového pouzdra na pouzdru přístroje, které je na jeho boku. Tím usnadníme práci sportovnímu komisaři a zabráníme nedorozuměním.

12. Před fixováním záznamu nesmíme zapomenout opsat všechna základní data o letu z kartičky spolu s číslem oprávnění a podpisem sportovního komisaře na záznamní papír!

13. Při uložení barografu na delší období (například v zimní přestávce) necháme úplně vyběhnout hodinový stroj, aby se pero strojku zbytečně neunavovalo.

14. Přístroje chráníme před otřesy a hrubým zacházením.

15. Časové intervaly (doby trvání letu) nutno vyhodnocovat jen podle kontrolní pásky, kterou získáme tak, že tentýž přístroj necháme běžet při nastavené oběžné době jako za letu a vždy po určitém časovém úseku (například 5 nebo 10 minut) uděláme rysku stlačením šroubku 12 (podle obrázku 5.1). Tak získáme časové měřítko, kterého můžeme použít pro vyhodnocení doby letu.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Barograf je registrační výškoměr. Měrným elementem je jedna nebo více vzduchoprázdných uzavřených tlakoměrných krabic, jejichž zdvih se při změnách barometrického tlaku vzduchu přenáší na ručičku. Záznam se provádí buď inkoustem na papír, nebo častěji hrotem záznamní ručky na začázený papír.

Záznam z letu vyhodnocujeme pomocí cejchovacího diagramu, získaného cejchováním barografu v podtlakové komoře. Nejužívanější rozsah barografů je 0–6.000 metrů, nejčastěji používaná oběžná doba je 10 hodin.

S barografem musíme zacházet opatrně.

1. Co je to barograf?
2. Popište konstrukci a funkci barografu!
3. Proč se u barografů užívá většinou více tlakoměrných krabic?
4. Jak kontrolujeme správnou přitlačnou sílu záznamní ručky?
5. Jak kontrolujeme doléhání ručky na záznamní papír v celém rozsahu výškové i časové stupnice?
6. Proč musíme vysunovat a zasunovat přístroj do pouzdra při spuštění hodinového strojků?
7. Jaké výškové rozsahy barografů se užívají?
8. Jaké oběžné doby se u barografů používají?
9. V jaké poloze a jak musí být barograf v letadle umístěn?
10. Kdy vypínáme hodinový stroj barografu po přistání?
11. Jakých druhů záznamu se u barografů užívá?

Z aerodynamiky víme, že pro let letadla těžšího vzduchu je nezbytné, aby křídlo letadla bylo obtékáno vzdušným proudem určitou rychlostí. Rychlost, měřenou vzhledem ke vzduchu, nazýváme relativní rychlostí (nebo někdy také vzdušnou rychlostí). Opět z aerodynamiky víme, že je lhostejné, pohybuje-li se letadlo v klidném vzduchu, nebo pohybuje-li se vzduch vzhledem k letadlu toutéž rychlostí. V obou případech budou křídla vyvozovat stejný vztlak.

Nyní si však musíme uvědomit, že prostředí, ve kterém se letadlo pohybuje, může se samo vzhledem k zemi pohybovat. Proto také ve většině případů nebude vzdušná (relativní) rychlost souhlasit s rychlostí letadla měřenou vzhledem k zemi, to je s rychlostí absolutní. Pohybuje-li se prostředí, to znamená fouká-li vítr, bude letadlo větrem unášeno.

Vzpomeňme si na koupání v řece, kde je velmi silný proud. Tam nás nepřekvapí, když při plavání po proudu budeme se pohybovat vzhledem k břehu rychleji než při plavání proti proudu, ačkoliv plaveme vzhledem k vodě vždy se stejným úsilím, tj. stejně rychle. Naše rychlost vzhledem k vodě (relativní rychlost) je stejná, ať plaveme v klidné vodě, po proudu nebo proti proudu. Absolutní rychlost, tj. rychlost vzhledem k břehu bude v jednotlivých případech různá. Při plavání v klidné vodě bude absolutní rychlost stejná s relativní rychlostí. Při plavání po proudu bude absolutní rychlost větší, při plavání proti proudu menší než rychlost relativní.

Řekli jsme si již, že pro let letadla těžšího vzduchu je nutné, aby bylo křídlo obtékáno vzdušným proudem určitou rychlostí. Každému režimu letu odpovídá pro určitý typ letounu zcela určitá relativní rychlost.

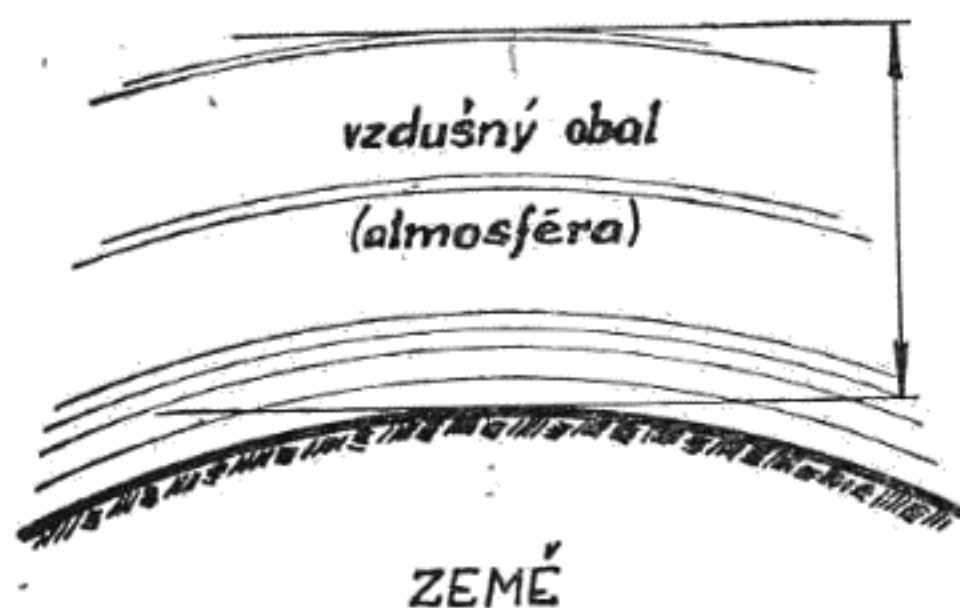
Nás plachtaře zajímá především rychlost při minimálním klesání, rychlost při maximální klouzavosti a pádová rychlost. Abychom mohli ekonomicky létat, musíme velikosti těchto rychlostí nejen teoreticky znát, ale musíme je především také za letu přesně měřit. K tomu nám slouží rychloměry.

Rychloměr na měření relativní rychlosti letadla (rychlosti vzhledem ke vzduchu) je založen na principu měření rozdílu tlaků, a to

buď rozdílu celkového a statického tlaku, nebo rozdílu vyvozeného podtlaku a statického tlaku.

Povíme si nyní něco o snímání těchto tlaků.

Stojíme-li na určitém místě na zemi za bezvětří, působí na nás pouze statický tlak vzduchu, tj. barometrický tlak, který je určen,



Obr. 6.1. Schéma atmosféry Země.

jak již víme z kapitoly o výškoměrech, výškou vzduchového sloupce nad námi.

Statický tlak měříme pomocí barometru (nebo nyní to již také umíme pomocí výškoměru).

Představme si, že se začneme pohybovat. Ucítime, že proti nám působí určitá síla, určitý tlak, který je tím větší, čím rychleji se pohybujeme. Tomuto tlaku

říkáme tlak dynamický (dynamický proto, že vznikl pohybem).

Jeho velikost si můžeme vypočíst ze vztahu:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2,$$

kde: q je dynamický tlak v kg/m^2 ;

ρ je měrná hmota vzduchu (pro výšku hladiny moře, teplotu $+15^\circ \text{C}$ a barometrický tlak $760 \text{ mm Hg} = 1013,2 \text{ mb}$, tj. pro podmínky Mezinárodní standardní atmosféry, je $\rho_0 = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$;

v je rychlost pohybu vzhledem ke vzduchu v m/s .

Například pro rychlost $v = 2 \text{ m/s}$ vyjde nám dynamický tlak:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,125 \cdot 2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,125 \cdot 4 = 0,25 \text{ kg/m}^2.$$

Pro doplnění uvedme si diagram velikostí dynamického tlaku q pro různé rychlosti v (pro $\rho_0 = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$) na str. 51.

Pro úplnost je uvedena stupnice v km/h , přičemž platí, že:

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

V praxi užíváme většinou místo uvedeného vztahu $q = \frac{1}{2} \rho v^2$ kratšího vý-

$$\text{razu } q = \frac{v^2}{16} \text{ (protože } \frac{1}{2} \rho = \frac{1}{2} \cdot 0,125 = 0,0625 = \frac{1}{16} \text{ (kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4\text{))}.$$

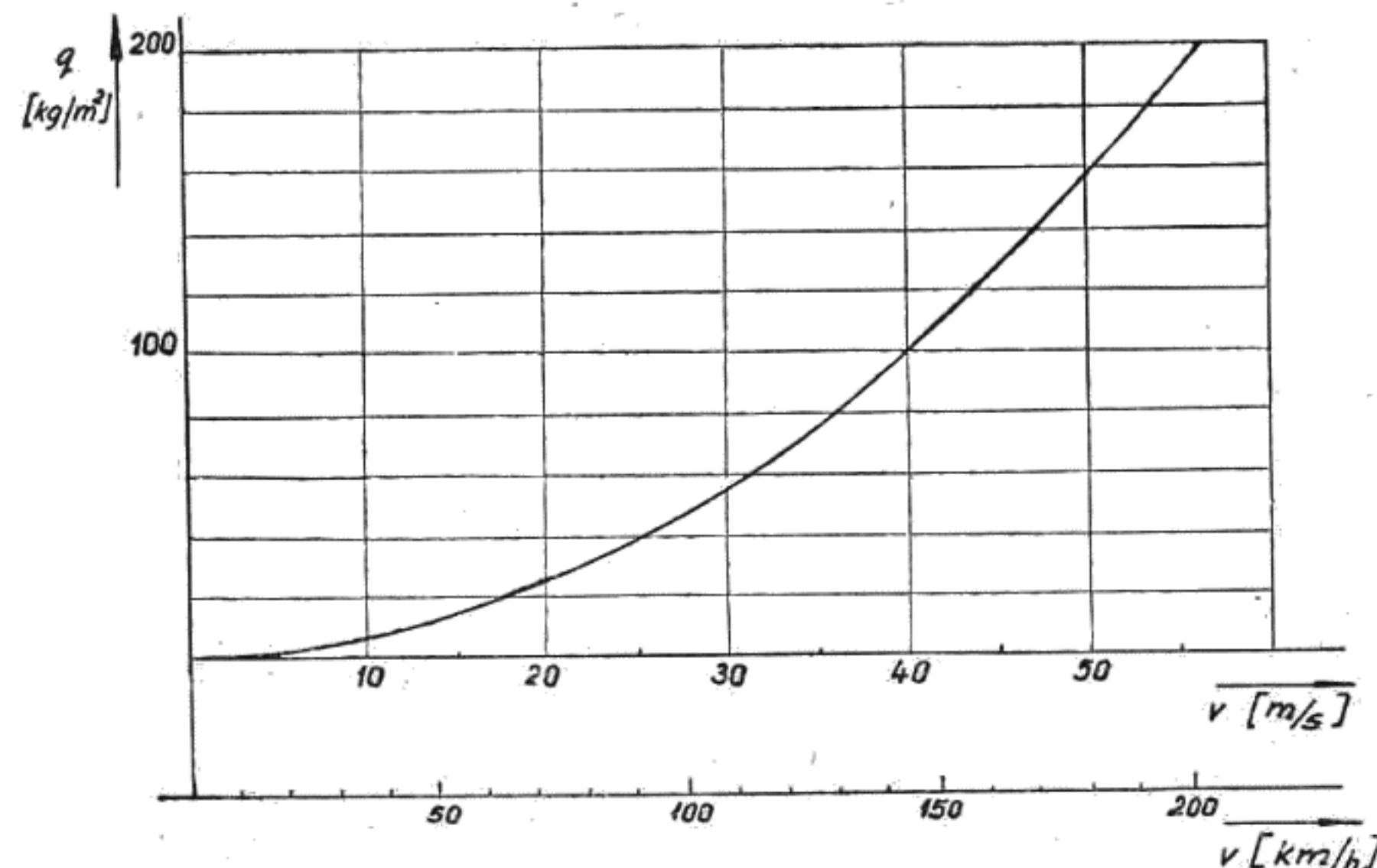
Tak například pro rychlost 72 km/h , tj. 20 m/s ($72 : 3,6 = 20$), vychází:

$$q = \frac{v^2}{16} = \frac{20^2}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ kg/m}^2,$$

což můžeme pohodlně přečíst z diagramu v obr. 6.2.

Všimněme si blíže rozměru, kterého užíváme pro dynamický tlak. Nejčastěji užíváme rozměr kg/m^2 . Tento rozměr je velice praktický, zvláště pro aerodynamiku. 1 kg/m^2 je totiž zároveň 1 mm vodního sloupce, jak vidíme z následující rovnice:

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 10\,000 \text{ kg/m}^2 = 10\,000 \text{ mm H}_2\text{O}.$$



Obr. 6.2. Průběh závislosti dynamického tlaku na rychlosti letu.

Protože v aerodynamických laboratořích se tlaky měří přesnými tlakoměry, jejichž stupnice jsou cejchovány v $\text{mm H}_2\text{O}$, jsou tedy jednotlivé dílky stupnice přímo také kg/m^2 , což je velmi výhodné.

Důležité je si uvědomit, že dynamický tlak působí a musíme ho měřit jen v rovině, která je kolmo ke směru proudu.

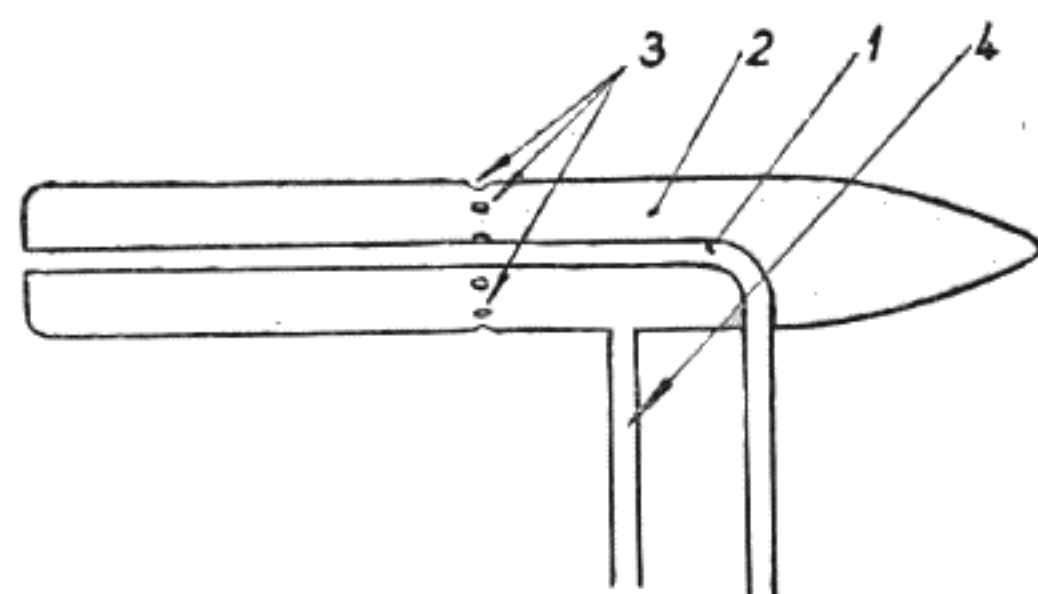
Nyní se vraťme k původnímu případu.

Když jsme stáli, působil na nás pouze statický tlak. Jakmile jsme se začali pohybovat, působil na nás navíc ještě tlak dynamický. Celkem tedy na nás působí (měřeno ve směru proti proudu vzduchu) určitý celkový tlak, který je dán součtem tlaku statického a tlaku dynamického.

Tohoto poznatku se využívá u Pitotovy trubice (která má být správně nazývána Prandtlůva trubice, protože původní Pitotova trubice měřila pouze celkový tlak – ovšem budeme dále užívat názvu Pitotova trubice proto, že je tento název vžitý a je ho možno ponechat z toho důvodu, že Prandtlůva trubice je vlastně určitá

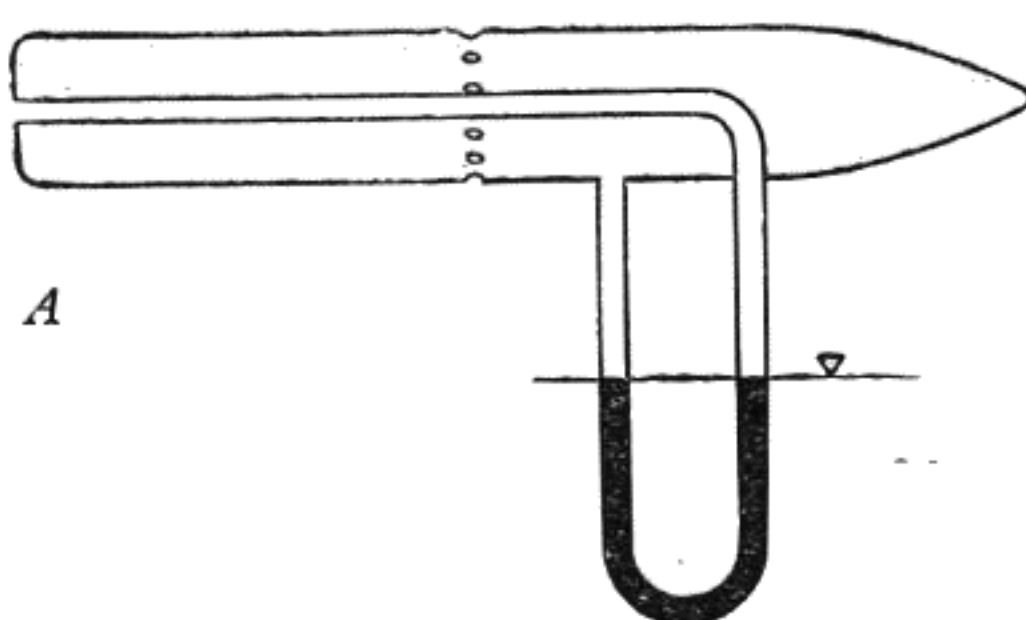
úprava trubice Pitotovy). Někdy se užívá také názvu Pitot-statická trubice.

Schéma Pitotovy trubice je na obrázku 6.3. Skládá se z trubice 1, kterou se snímá celkový tlak a z komory 2, spojené v určitém místě (asi ve vzdálenosti trojnásobného průměru trubice od přední strany)

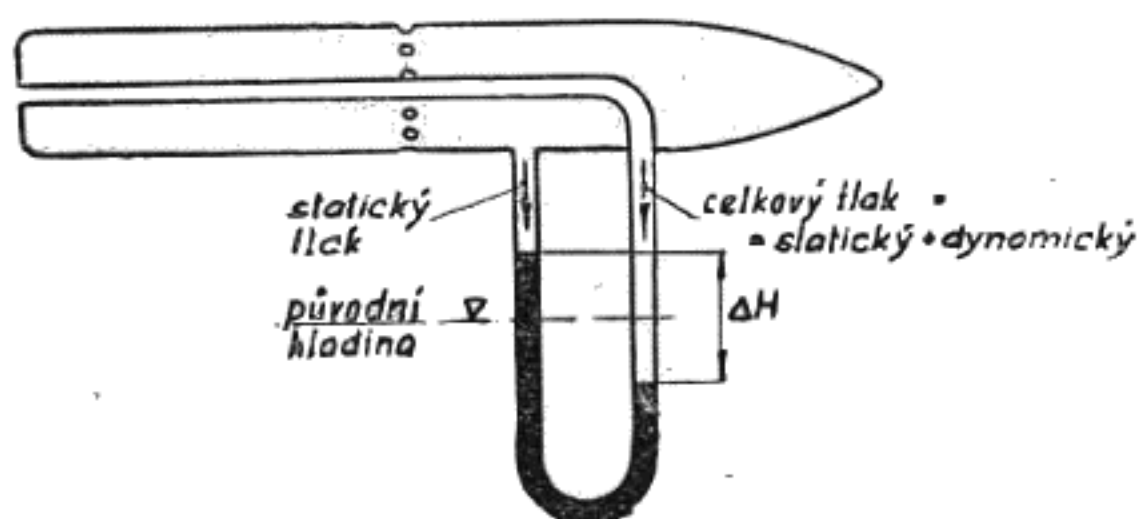


Obr. 6.3. Schéma Pitotovy trubice.

1 - trubice přívodu celkového tlaku, 2 - komora, 3 - statické otvory, 4 - trubice přívodu statického tlaku.



Obr. 6.4. Poloha hladin v trubcovém manometru při nulové rychlosti proudu.



Obr. 6.5. Poloha hladin v trubcovém manometru při určité rychlosti vzdušného proudu.

otvory 3 s okolním prostředím. Z komory 2 se trubicí 4 odebírá statický tlak.

Je-li trubice v klidu, je v místě A pouze statický tlak. Zapojíme-li vývody Pitotovy trubice (trubici 1 a 4) na trubicový kapalinový manometr (který má být správně nazýván „tlakoměrný sloupec“ nebo „vodní sloupec“), jak vidíme schématicky na obrázku 6.4, budou obě hladiny v ramenech manometru ve stejné výši.

Jakmile začneme trubicí pohybovat, bude v místě A působit nejen statický tlak, ale i tlak dynamický. V trubici 1 tedy bude celkový tlak (= statický + dynamický), v trubici 4 bude stále jen statický tlak. Hladiny v trubicích změni svou polohu o ΔH . Je-li manometr naplněn vodou, bude výškový rozdíl hladin v mm přímo dynamickým tlakem v kg/m^2 , jak již víme.

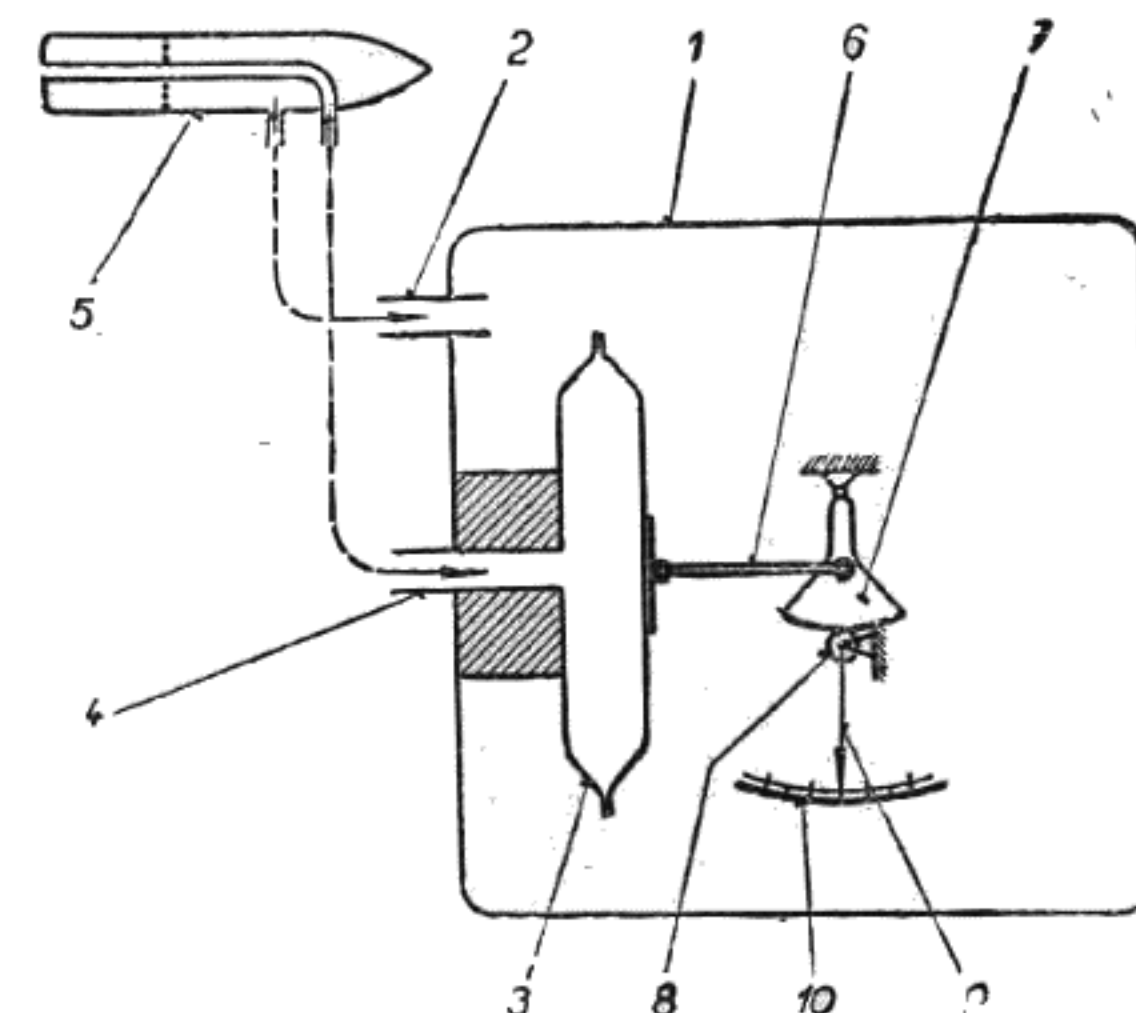
Na jedné straně manometru působí statický tlak (trubice 4),

na druhé straně celkový tlak (statický + dynamický) v trubici 1. Výchylka hladin ΔH je tedy úměrná dynamickému tlaku; statické tlaky působí v obou ramenech, proto se ruší. Protože víme, že dynamický tlak je úměrný rychlosti ($q = \frac{1}{16} v^2$), mohli bychom z výškového rozdílu hladin v manometru vypočítat rychlost, jakou se trubice pohybuje vzhledem k prostředí.

Tímto způsobem se měří rychlost proudu v aerodynamickém tunelu. V letadle by ovšem takové zařízení (trubicový manometr) bylo nepohodlné, proto užíváme pro měření rychlosti, podobně jako u výškoměrů a barografů, tlakoměrných krabic. Snímacím elementem ovšem zůstává Pitotova trubice.

Schéma rychloměru zapojeného na Pitotovu trubicí je na obrázku 6.6.

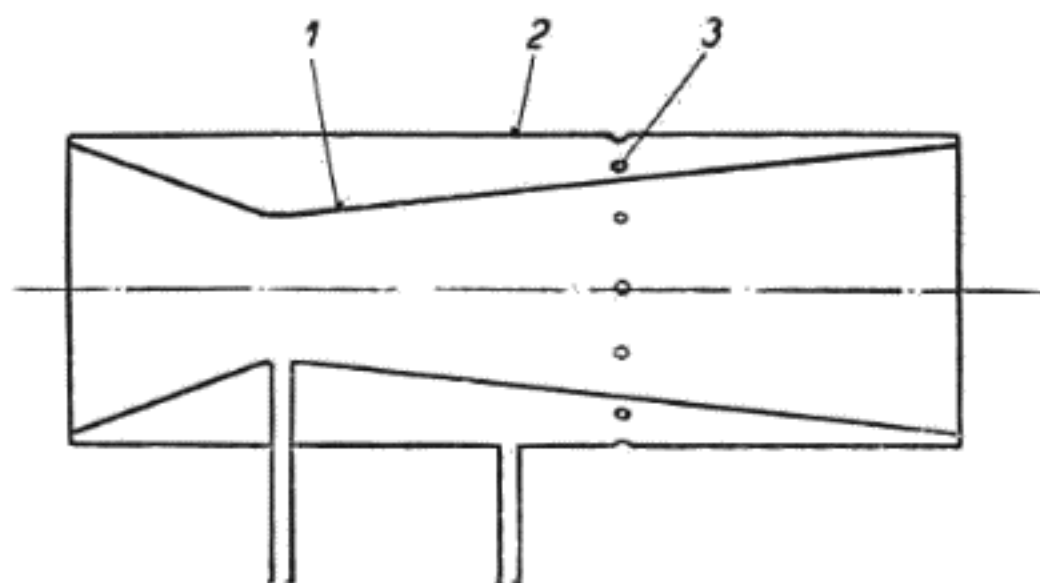
Do vzduchotěsně uzavřeného pouzdra přístroje 1 se trubicí 2 přivádí statický tlak. Do tlakoměrné krabice 3 se trubicí 4 přivádí celkový tlak. Oba tlaky snímá Pitotova trubice 5. Na stěny tlakoměrné krabice bude tedy z jedné strany (vnější) působit statický tlak, z druhé (vnitřní) strany celkový tlak, tedy tlak statický + tlak dynamický. Statické tlaky se opět ruší, takže na tlakoměrnou krabici jako by působil uvnitř dynamický tlak. Ten způsobí určitou deformaci volného dna tlakoměrné krabice 3, takže převodové táhlo 6 se pohybuje směrem doprava (při zvyšování rychlosti). Tím nutí přes hrabici 7 a pastorek 8 ručičku 9, aby se pohybovala a to v tomto případě (při zvyšování rychlosti, tedy i zvyšování dynamického tlaku) ve smyslu pohybu hodinových ručiček. Ručička přístroje 9 se pohybuje po stupnici 10, která je cejchována přímo v jednotkách rychlosti, například v km/h .



Obr. 6.6. Schéma rychloměru, zapojeného na Pitotovu trubicí.

1 - pouzdro přístroje, 2 - přívod statického tlaku, 3 - tlakoměrná krabice, 4 - přívod celkového tlaku, 5 - Pitotova trubice, 6 - převodové táhlo, 7 - hrabice, 8 - pastorek, 9 - ručička, 10 - stupnice.

Dynamický tlak přibývá při malých rychlostech velmi pomalu (jak je zřejmé z obrázku 6.2) a je poměrně malý. Proto také měření malých rychlostí (do asi 50 km/h) bude nepřesné, pokud užijeme



Obr. 6.7. Schéma Venturiho trubice.

1 – zúžující a opět se rozšiřující trubice, 2 – obal komory, 3 – statické otvory.

pro snímání Pitotovy trubice. Všimneme si později, že stupnice takového rychloměru je v oblasti 0 ÷ 50 km/h (někdy 0 ÷ 100 km/h) velmi zhuštěna a odečítání tím značně nepřesné.

V dnešní době však již vlivem zlepšení konstrukce rychloměru, výroby tlakoměrných krabic a užitím vhodného

převodu je uvedený nedostatek zčásti odstraněn.

Přesto se však dosud všude tam, kde jde o létání právě těmito malými rychlostmi (do 100 km/h) užívá více rychloměrů, zapojených na Venturiho trubici.

Schéma Venturiho trubice je na obrázku 6.7. Vlastní Venturiho trubici tvoří zúžující se a opět se rozšiřující trubice 1. Okolo ní je obal 2, který uzavírá prostor, jenž je otvory 3 spojen s okolím a ze kterého je odebírán statický tlak.

Podle Bernoulliho rovnice musí pro protékající proud vzduchu platit, že součet statického a dynamického tlaku (který odpovídá příslušné rychlosti) je ve všech průřezích trubice stejný (konstantní).

Tlak v místě A si označme p_A , rychlost proudu v místě A v_A . Pro bod B (řez B) si označíme tlak p_B a rychlost v_B . Měrnou hmotu vzduchu pokládáme za konstantní.

Bernoulliho rovnice zní:

$$p_A + \frac{\rho_A}{2} v_A^2 = p_B + \frac{\rho_B}{2} v_B^2 = \text{konstanta}.$$

Podle rovnice kontinuity platí, že součin rychlosti a plochy průřezu trubice musí být ve všech řezech stejný.

Označíme-li si plochu průřezu v místě A jako S_A a plochu průřezu v místě B jako S_B , potom bude rovnice kontinuity znít:

$$v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B = \text{konstanta}.$$

Tato rovnice nám ukazuje, že má-li zůstat součin rychlosti a plochy průřezu konstantní, musí v případě, že se zmenší někde průřez,

v tomtéž místě stoupnout rychlost. Naopak zvětší-li se někde průřez trubice, rychlost proudu v tomtéž řezu se musí zmenšit.

V našem případě (podle obrázku 6.8) je průřez trubice v místě B menší než průřez trubice v místě A, tedy rychlost v místě B bude větší než rychlost v místě A.

Vrátíme se s těmito poznatky k Bernoulliho rovnici. Tato rovnice říká, že jestliže se v nějakém místě zvýší rychlost (tedy i dynamický tlak), musí se v tomtéž místě snížit statický tlak, protože součet tlaku dynamického a tlaku statického musí zůstat stále konstantní.

V místě B jsme si pomocí rovnice kontinuity dokázali, že rychlost se zvýší (proti rychlosti v místě A). Zvýšené rychlosti odpovídá podle Bernoulliho rovnice snížení statického tlaku v místě B proti místu A. Protože v místě A, tj. na začátku Venturiho trubice, je statický tlak rovný tlaku barometrickému, dostaneme v místě B podtlak (měřeno vzhledem k tlaku barometrickému). Tomuto podtlaku se někdy říká „vyvozený podtlak“. Tento podtlak bude tím větší (tlakový rozdíl bude větší), čím rychleji se budeme s trubicí pohybovat.

Seznamme se ještě s pojmem konstanta Venturiho trubice.

Vrátme se k dříve uvedeným rovnicím:

$$\frac{\rho_A}{2} v_A^2 + p_A = \frac{\rho_B}{2} v_B^2 + p_B, \quad (1)$$

$$v_A \cdot S_A = v_B \cdot S_B \quad (2)$$

Uvažujeme nestlačitelné prostředí, proto můžeme uvažovat měrnou hmotu vzduchu za konstantní v obou průřezích, tedy:

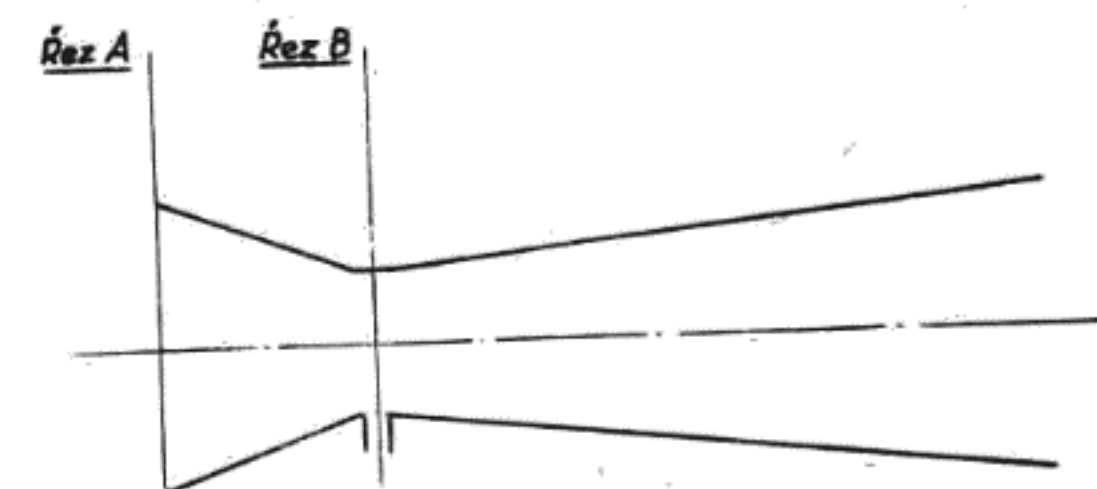
$$\rho_A = \rho_B = \rho \quad (3)$$

upravíme rovnici kontinuity:

$$v_B = v_A \frac{S_A}{S_B} \quad (2')$$

a dosadíme vztahy (3) a (2') do rovnice (1):

$$\frac{\rho}{2} v_A^2 + p_A = \frac{\rho}{2} v_A^2 \frac{S_A^2}{S_B^2} + p_B \quad (1')$$



Obr. 6.8. Vysvětlení velikosti tlaku a rychlosti proudu v různých průřezích Venturiho trubice.

protože měříme rozdíl tlaků, vyjádříme si jej:

$$p_B - p_B = \frac{\rho}{2} v_A^2 \left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right) \quad (1'')$$

Vzpomínáme si, že u Pitotovy trubice jsme měřili rozdíl tlaků:

$$q = \frac{\rho}{2} v_A^2 \quad (4)$$

Porovnáním vztahů (1'') a (4) vidíme, že rozdíl tlaků, měřený Venturiho trubicí bude větší, a to

$$\left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right) \text{ krát.}$$

Výraz v závorce $\left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right)$ se označuje jako konstanta Venturiho trubice.

Nejčastěji se v praxi užívá Venturiho trubice s konstantou $K = 3,5$.

Můžeme si vypočítat poměr průřezů trubice pro místa A a B:

$$\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 = 3,5 \quad S_A = \frac{\pi}{4} d_A^2; \quad S_A^2 = \frac{\pi^2}{16} d_A^4$$

$$S_B = \frac{\pi}{4} d_B^2; \quad S_B^2 = \frac{\pi^2}{16} d_B^4$$

$$\frac{\frac{\pi^2}{16} d_A^4}{\frac{\pi^2}{16} d_B^4} - 1 = 3,5$$

Výrazy $\frac{\pi^2}{16}$ můžeme krátit a dostaneme:

$$\frac{d_A^4}{d_B^4} - 1 = 3,5$$

$$\frac{d_A^4}{d_B^4} = 4,5$$

$$\frac{d_A}{d_B} = \sqrt[4]{4,5}$$

$$\frac{d_A}{d_B} = 1,455$$

Průměr kužele v místě A je tedy $1,455 \times$ větší, než průměr kužele v místě B.

Stejně jako u Pitotovy trubice mohli bychom rozdíl tlaků (podtlak) přímo měřit trubicovým manometrem.

Při nulové rychlosti proudu vzduchu vzhledem k Venturiho trubicí budou hladiny kapaliny v obou ramenech manometru ve stejné výši, protože tlaky jsou ve všech průřezích trubice stejné.

Budeme-li trubicí pohybovat určitou rychlostí, sníží se v místě B

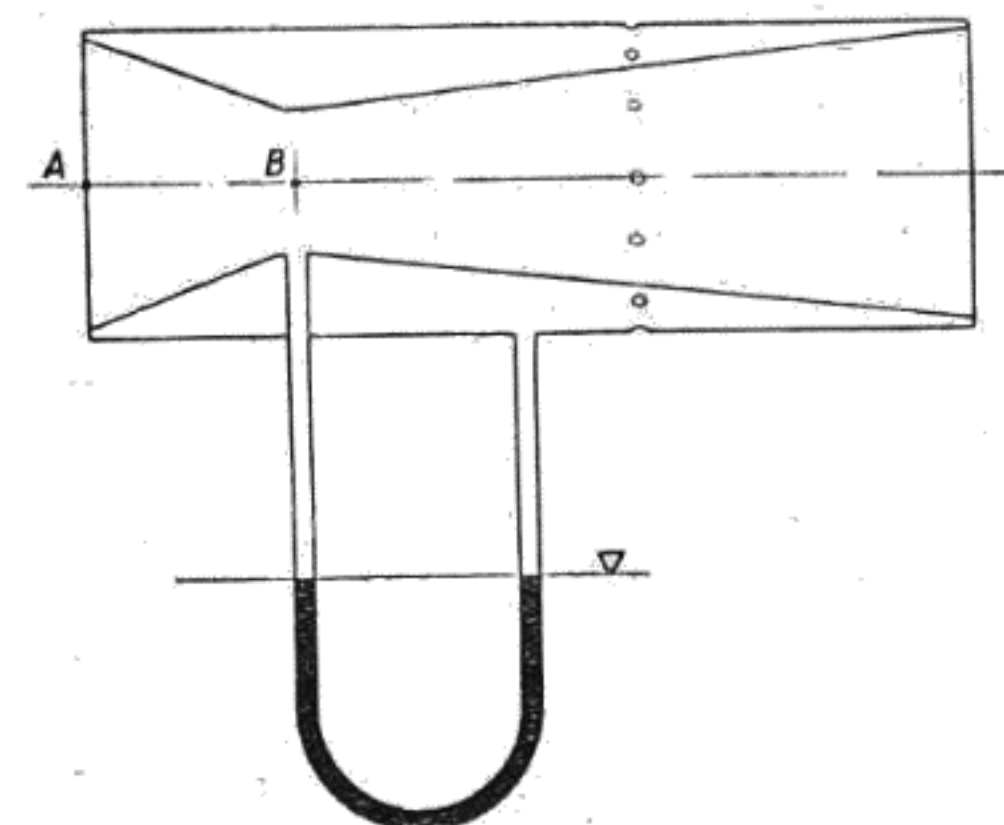
tlak vzhledem k tlaku v místě A, který je shodný s barometrickým tlakem a snímáme ho trubicí 2. Hladiny v ramenech manometru se nám vychýlí o určitou výšku ΔH , která odpovídá příslušnému rozdílu tlaků v místě A a v místě B, tedy odpovídá i rychlosti, kterou se Venturiho trubice pohybuje. Tento rozdíl tlaků je 3,5krát větší (pro konstantu Venturiho trubice $K = 3,5$) než u Pitotovy trubice při stejné rychlosti trubic vzhledem k prostředí, protože konstanta Pitotovy trubice je $K = 1$.

Venturiho trubicí měříme vyvozený podtlak, tj. rozdíl tlaků v nejužším místě trubice vzhledem ke statickému (barometrickému) tlaku. Neměříme tedy dynamický tlak jako Pitotovou trubicí, proto také výškový rozdíl hladin v trubicovém manometru nemůžeme považovat za dynamický tlak v kg/m^2 !

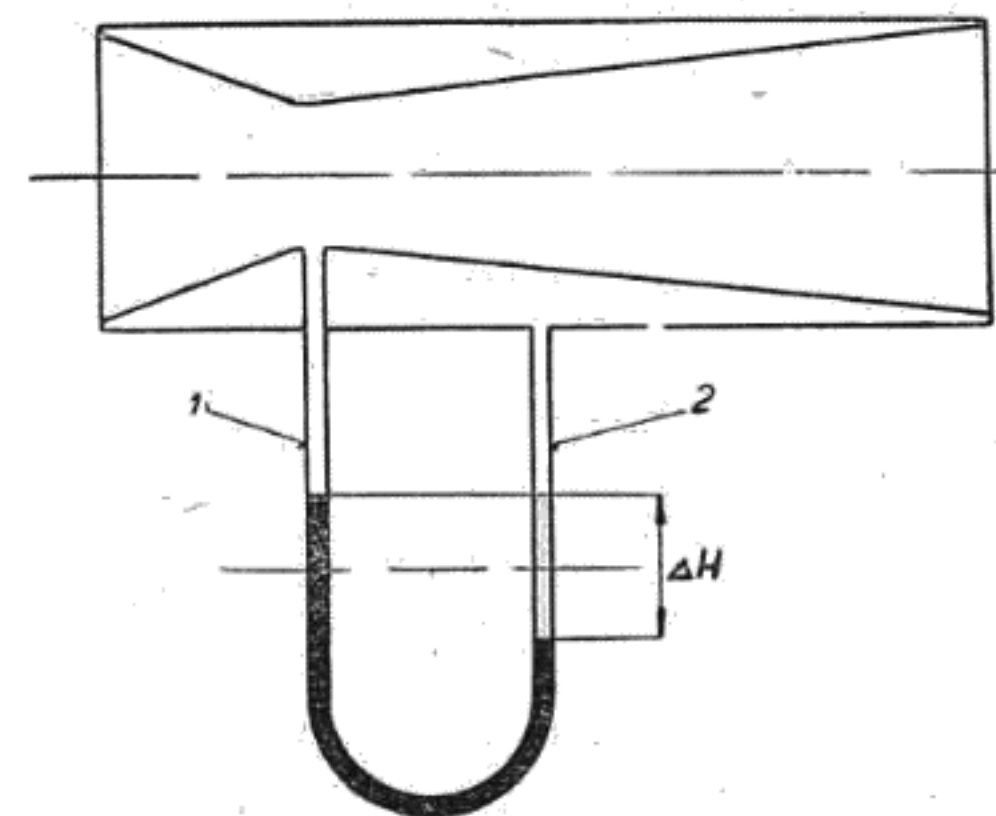
Pro porovnání se podívejme na obrázek 6.11, kde je nakreslen výškový rozdíl hladin trubicového manometru pro Venturiho a Pitotovu trubicí při stejné relativní rychlosti trubic vzhledem k prostředí.

Metodou s trubicovým manometrem lze měřit rychlost proudu vzduchu jen v aerodynamickém tunelu nebo ve speciálních případech. V letadle užíváme pro měření rozdílů tlaků (vyvozeného podtlaku), získaného Venturiho trubicí, tlakoměrných krabic.

Schéma rychloměru, zapojeného na Venturiho trubicí je na obrázku 6.12 na následující straně.



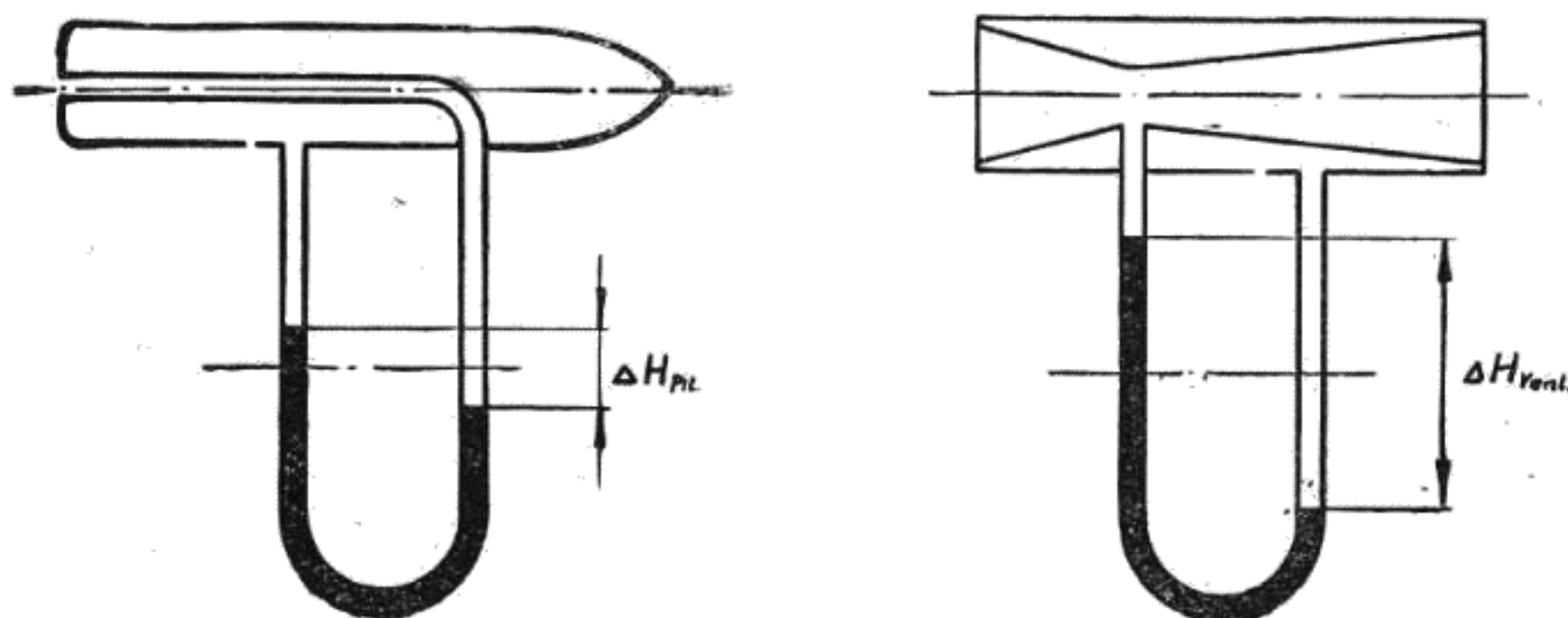
Obr. 6.9. Poloha hladin v trubicovém manometru při nulové rychlosti proudu.



Obr. 6.10. Poloha hladin v trubicovém manometru při určité rychlosti proudu vzduchu.

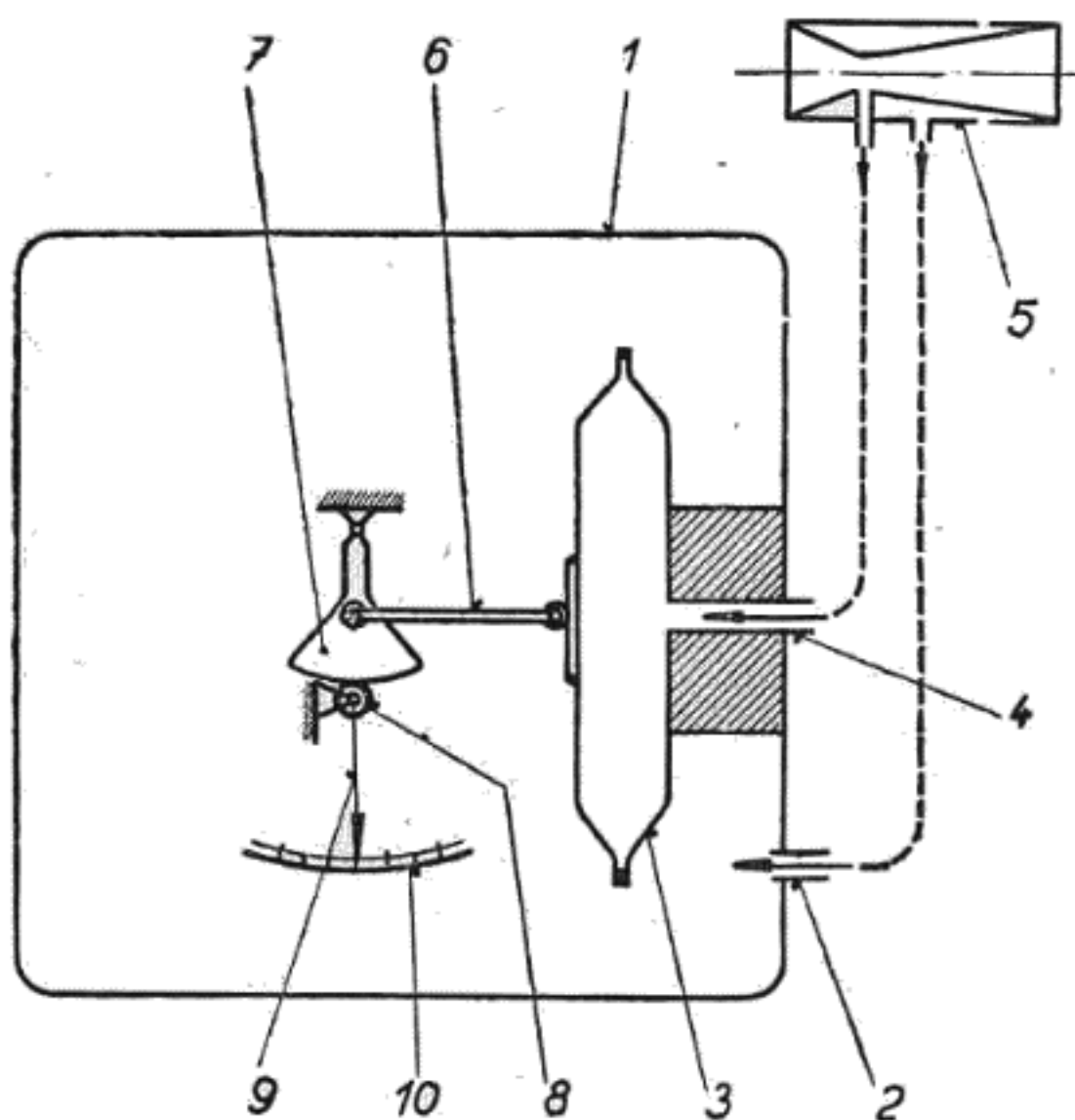
1 - přívod vyvozeného podtlaku, 2 - přívod statického tlaku

Do pouzdra přístroje 1 se trubicí 2 přivádí statický tlak. Do tlakoměrné krabice 3 se trubicí 4 přivádí vyvozený podtlak. Statický tlak



Obr. 6.11. Srovnání výškového rozdílu hladin v trubicových manometrech, zapojených na Venturiho a Pitotovu trubic při stejné rychlosti proudu vzduchu.

a podtlak jsou získávány Venturiho trubicí 5. Na stěny tlakoměrné krabice 3 bude tedy z jedné strany (vnější) působit statický tlak a z druhé strany (vnitřní) vyvozený podtlak.



Obr. 6.12. Schéma rychloměru, zapojeného na Venturiho trubic.

1 – pouzdro přístroje, 2 – přívod statického tlaku, 3 – tlakoměrná krabice, 4 – přívod vyvozeného podtlaku, 5 – Venturiho trubice, 6 – převodové táhlo, 7 – hrabice, 8 – pastorek, 9 – ručička, 10 – stupnice.

Podtlak způsobí deformaci volného dna tlakoměrné krabice 3, takže převodové táhlo 6 se bude pohybovat směrem doprava. Tím nutí přes hrabici 7 a pastorek 8 ručičku 9, aby se pohybovala a to v případě zvyšování rychlosti letu (pohybu Venturiho trubice vzhledem k prostředí), tj. zvětšování vyvozeného podtlaku ve smyslu pohybu hodinových ručiček. Ručička 9 ukazuje na stupnici 10, která je cejchována v jednotkách rychlosti (např. v km/h).

Dříve, než si popíše-

me některé konstrukce rychloměrů, řekněme si něco o chybách údaje rychloměru.

U popsáných typů rychloměrů je údaj přístroje úměrný součinu ρv^2 (kde ρ je měrná hmota vzduchu a v je rychlost proudu). Tato vlastnost je velice výhodná z hlediska bezpečnosti letu, protože stejným úhlem náběhu křídla letadla (jak víme z aerodynamiky) odpovídá vždy tentýž součin ρv^2 , tedy tentýž údaj rychloměru bez ohledu na výšku letu (bez ohledu na proměnné ρ). Při zmenšování rychlosti letu, tj. při zvětšování úhlu náběhu křídla letadla, přiblížíme se ke kritickému úhlu náběhu, k pádové rychlosti. Tento stav nastává vždy při stejném údaji rychloměru, nezávisle na výšce letu.

Uvedená vlastnost rychloměru (bez korekce na změnu hustoty [měrné hmoty] s výškou) je však nepříznivá z hlediska navigace, protože vlivem zmenšující se měrné hmoty (hustoty) vzduchu s výškou mění se skutečná rychlost (v navigaci označovaná „pravá vzdušná rychlost“) a to tak, že s výškou stoupá. Nemá-li tedy rychloměr hustotní korekci, bude ve výšce udávat menší rychlost, než je rychlost skutečná.

Skutečnou rychlost můžeme vypočítat podle vzorce:

$$v_{sk} = v_i \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$$

kde: v_{sk} je skutečná rychlost (pravá vzdušná rychlost);
 v_i je indikovaná rychlost (rychlost udávaná rychloměrem bez hustotní korekce);
 ρ_0 je měrná hmota vzduchu pro výšku hladiny moře ($\rho_0 = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$);
 ρ_H je měrná hmota vzduchu v určité výšce (pro kterou pravou vzdušnou rychlost (v_{sk}) počítáme).

Poměr $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$ je uveden v tabulkách různých příruček; pro úplnost si uvedeme výpis z takové tabulky:

Výška (m)	$\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$	Výška (m)	$\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$
0	1,0000	5000	1,2901
1000	1,0497	10 000	1,7232
2000	1,1035	15 000	2,5160
3000	1,1608	20 000	3,7327
4000	1,2229		

Pro krátký výpočet pro navigaci se v_{sk} obvykle počítá ze vzorečku:

$$v_{sk} = v_i + \frac{1}{2} \% v_i \text{ na každých } 100 \text{ m výšky}$$

Uvedené vztahy platí však za předpokladu, že teplota v určité výšce (pro kterou v_{sk} počítáme) odpovídá teplotě podle Mezinárodní standardní atmosféry.

Uvedme si nyní příklad pro dokonalé pochopení této stati. Letíme ve výšce 3000 metrů nad mořem, máme rychloměr bez hustotní korekce, který ukazuje 100 km/h.

Jaká je skutečná rychlost?

a) Nejprve použijeme přesného vzorečku:

$$v_{sk} = v_i \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}}$$

z tabulky odečteme pro výšku 3000 m:

$$\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_{3000}}} = 1,16.$$

Skutečná rychlost (pravá vzdušná rychlost) bude tedy:

$$v_{sk} = 100 \cdot 1,16 = 116 \text{ km/h}$$

b) Podle navigačního vzorečku:

$$v_{sk} = v_i + 30 \cdot 0,5 = 100 + 15 = 115 \text{ km/h}$$

$$\left(1 \% v_i = 1 \text{ km/h}; \frac{1}{2} \% v = 0,5 \text{ km/h} \right)$$

$$(3000 \text{ m} = 30 \times 100 \text{ m})$$

Vidíme, že výsledky se téměř shodují.

V praxi ovšem teplota v uvažované výšce většinou nesouhlasí s teplotou podle standardní atmosféry. Potom je nutné provést složitější výpočet nebo použít diagramů, uvedených v literatuře.

Nejrychlejší ovšem je výpočet navigačním pravítkem nebo navigačním kotoučem (někdy nazývaným komputorem nebo kalkulátorem), kde lze příslušnou opravu rychlosti jak s ohledem na změnu hustoty vzduchu, tak i s ohledem na rozdílnou teplotu proti teplotě podle standardní atmosféry odečíst přímo.

Některé rychloměry mají korekci na změnu hustoty (hustotní korekci), takže udávají přímo skutečnou rychlost (pravou vzdušnou rychlost), nebo mají dvě ručičky, z nichž jedna udává opravenou a druhá neopravenou rychlost.

Většina rychloměrů, užívaných ve větroních, hustotní korekci nemá.

Promluvíme si ještě o polohové chybě rychloměru. Pitotova nebo Venturiho trubice jsou u větroňů většinou umístěny na přední části trupu. Za letu jsou tedy v prostoru, který je ovlivněn (z aerodynamického hlediska) přítomností trupu. Proudnic vzduchu jsou vlivem tvaru trupu odchýleny. V místě snímací trubice je tedy jiné obtékání (jiný směr proudu a jiná rychlost proudu vzduchu) než v místě bez vlivu trupu, tj. někde velmi daleko od letounu. Proto také rychloměr bude ukazovat jinou rychlost, než kterou letadlo

skutečně má. Rozdíl mezi správnou rychlostí a rychlostí udávanou rychloměrem říkáme polohová chyba.

Na údaj rychloměru, lépe řečeno na rozdíl tlaku získaného Venturiho nebo Pitotovou trubicí má vliv i aerodynamický tvar trubice. V praxi měříme tuto chybu údaje rychloměru společně s polohovou chybou a celkovou chybu nazýváme aerodynamickou chybou. Korekci údaje rychloměru na správný údaj nazýváme potom aerodynamická oprava rychloměrného systému (systému proto, že měříme celý systém rychloměru, tj. Venturiho nebo Pitotovu trubicí ve spojení s rychloměrem jako celek).

Do velikosti aerodynamické chyby je většinou zahrnuta také chyba vlastního měřicího systému v rychloměru.

Při návrhu nového větroně je vždy snaha umístit snímací trubice do takového místa na trupu, kde by vliv obtékání letounu byl minimální, nebo alespoň stejný při všech používaných rychlostech.

Z praxe je známo, že i u větroňů stejného typu s trubicemi umístěnými ve stejném místě a stejnými rychloměry nejsou údaje shodné. To způsobují i zdánlivě malé odchylky ve tvaru trupu, tvaru Venturiho nebo Pitotovy trubice nebo výrobní nepřesnost (nestejnost) rychloměru. To bývá často podkladem pro „úvahy“ plachtařů o tom, jak některý větroň létá lépe než druhý, létá pomaleji než druhý a podobně. Ve skutečnosti létají oba větroně zcela shodně, jen údaje rychloměru se u obou liší.

Nejsprávnějším posouzením takových „sporů“ by bylo přeměření rychloměrných systémů obou větroňů na letecké bázi.

Pro názornost uvedme si závislost indikované přepočítané rychlosti v_{iz} (přepočítanou pro podmínky při zemi podle Mezinárodní standardní atmosféry) a rychlosti opravenou v_o . Tato závislost nám ukazuje vliv aerodynamické chyby.

V obrázku 6.13. je uvedena závislost mezi v_{iz} a v_o pro LF-109 „Pionýr“, OK-4063; pro rychloměr zapojený na Venturiho trubicí, umístěnou na přední části trupu před pilotní kabinou.

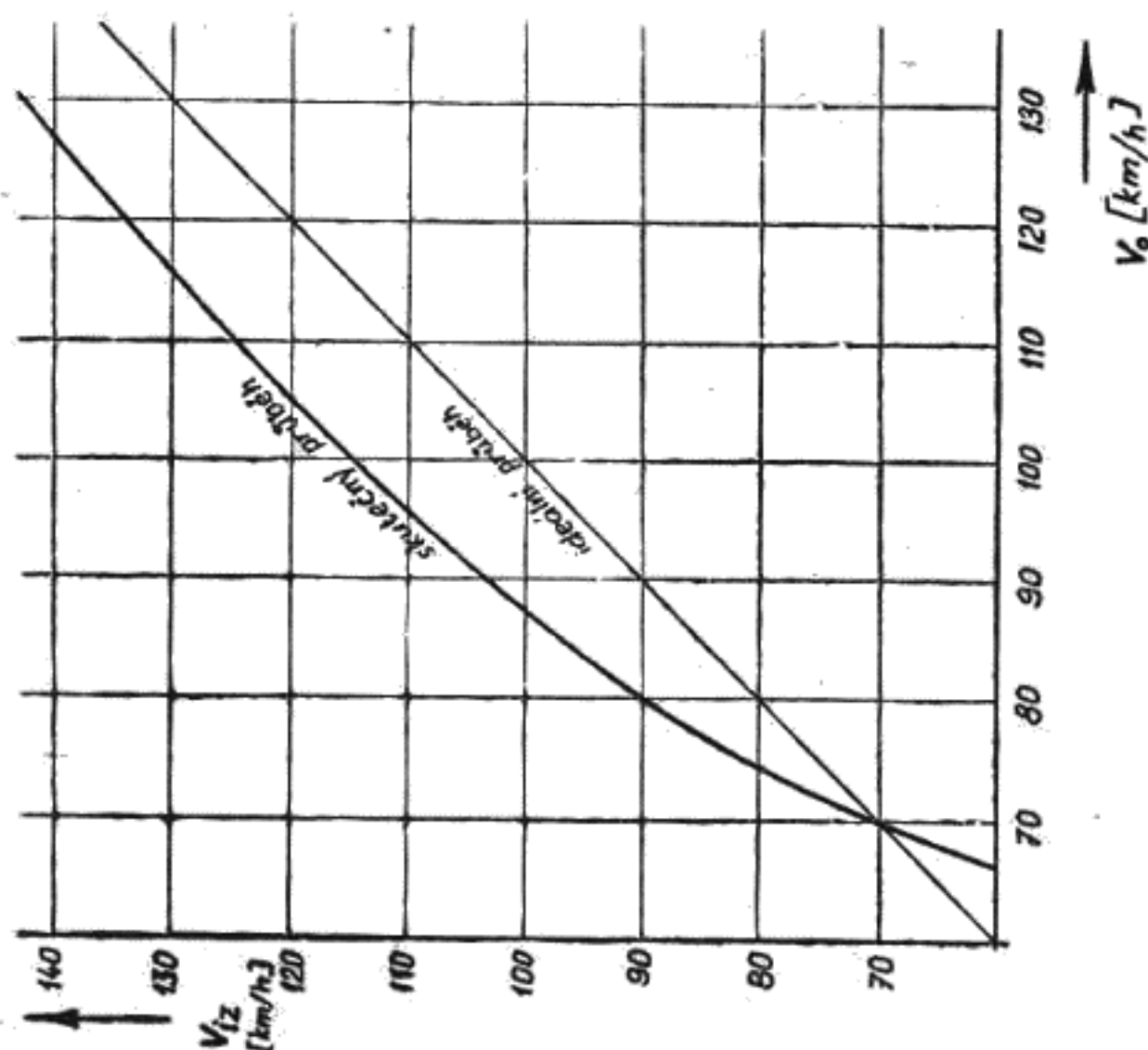
Z obrázku vidíme, že pro rychlosti menší než asi 70 km/h vychází aerodynamická oprava z hlediska bezpečnosti letu na příznivou stranu (přístroj ukazuje méně než je správná rychlost). V oblasti nad 70 km/h naopak jsou údaje přístroje větší než ve skutečnosti.

Tento příklad uvádíme proto, abychom si na skutečném případě ukázali nejen průběh aerodynamické opravy (tak jak má správně probíhat), ale také na velikosti odchylek. Například při správné rychlosti 105 km/h ukazuje přístroj 120 km/h, tedy o 15 km/h více!

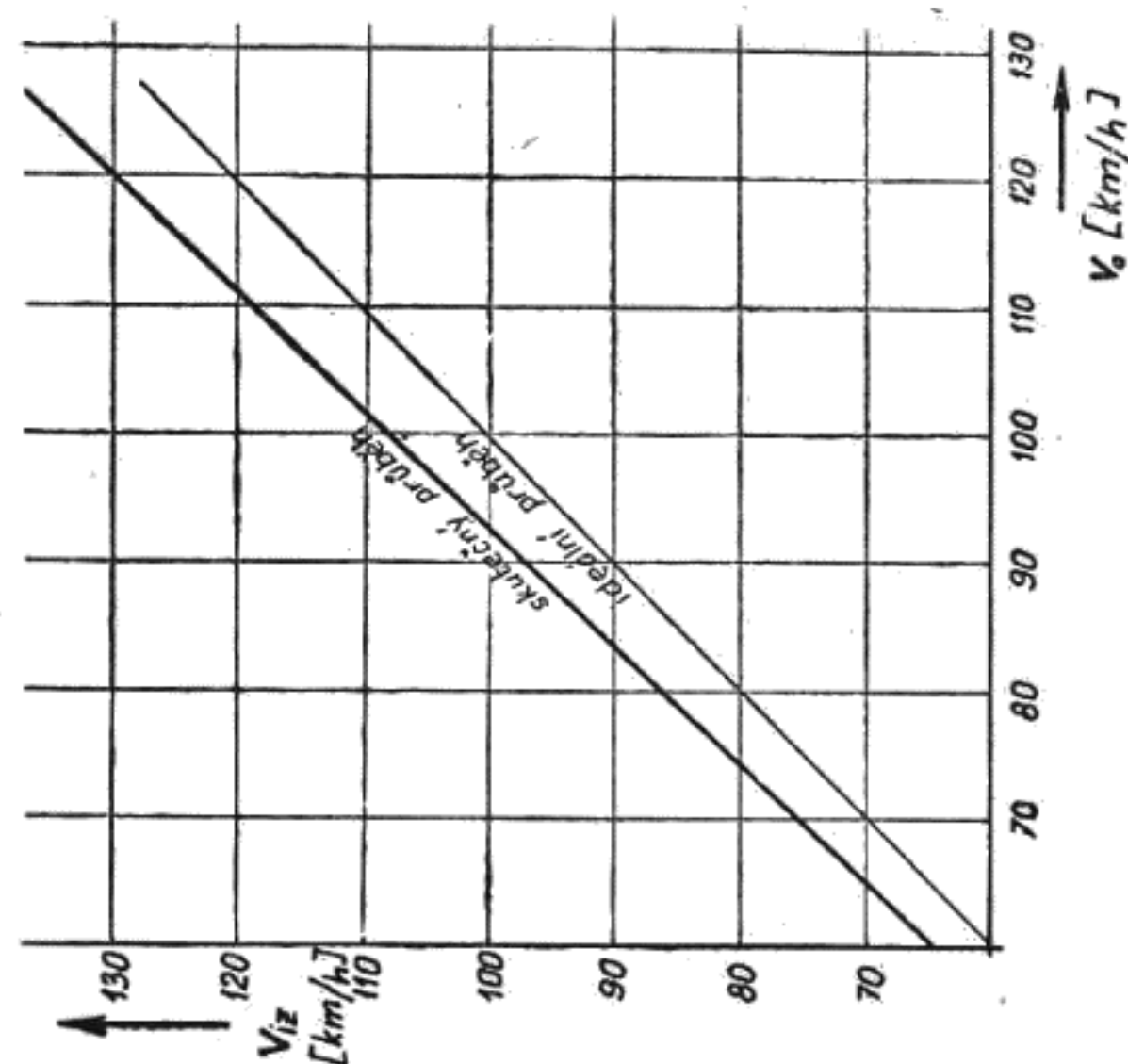
Aerodynamická oprava v uvedeném případě byla zjišťována průlety větroně ve vleku za motorovým letadlem; lety byly prováděny na letecké bázi.

Pro srovnání uvedme si průběh v_{iz} v závislosti na v_o , tj. závislost aerodynamické opravy pro rychloměrný systém, zapojený na Pitotovu trubicí.

V obrázku 6.14 je uvedena závislost v_{iz} na v_o pro tentýž větroň, tj. LF-109 „Pionýr“, OK-4063. Užito rychloměru, zapojeného na Pitotovu trubicí, umístěnou v nosu trupu.



Obr. 6.13. Závislost mezi indikovanou přepočítanou rychlostí v_{iz} a opravenou rychlostí v_o pro rychloměr, zapojený na Venturiho trubici ve větroni VT-109 „Pionýr“.



Obr. 6.14. Závislost mezi indikovanou přepočítanou rychlostí v_{iz} a opravenou rychlostí v_o pro rychloměr, zapojený na Pitotovu trubici ve větroni VT-109 „Pionýr“.

Statický tlak byl odebrán ze statických otvorů venturiho trubice. Z průběhu závislosti vidíme, že aerodynamická oprava rychloměrného systému měřeného větrone je zhruba konstantní při uvedených rychlostech a že se rovná asi 8 km/h. Smysl chyby směřuje v celém rozsahu uvedených rychlostí do nebezpečného pásma (rychloměr ukazuje větší rychlost než odpovídá skutečnosti). Je-li užito způsobu odděleného snímání celkového tlaku a statického tlaku, vychází hodnota aerodynamické opravy velmi nepatrná.

Létání v oblasti námrazy

Protože se s větrone můžeme mnohdy dostat do oblasti námrazy, probereme si případy, které se za letu mohou vyskytnout.

a) Máme rychloměr zapojený na Venturiho trubici

Dostaneme-li se do oblasti námrazy, zamrzne nám zpravidla nejříve nejužší průřez trubice. Co se děje v takovém případě s údajem rychloměru?

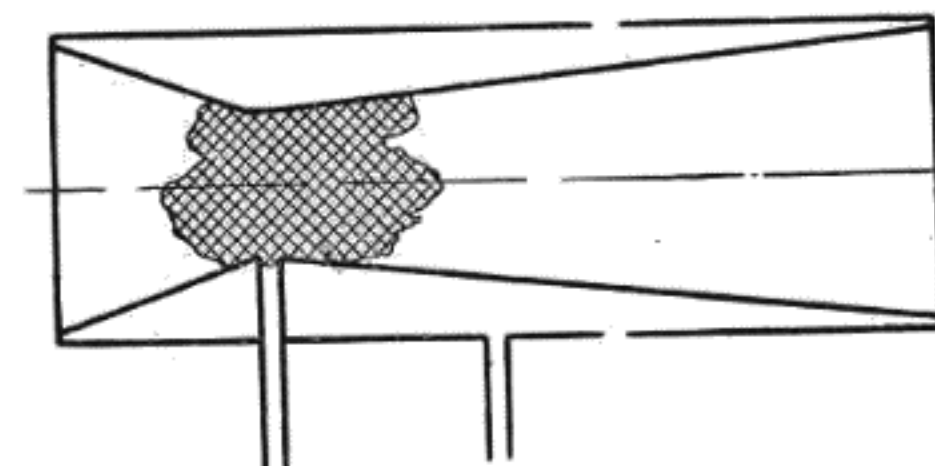
Předpokládáme, že statické otvory dosud nezamrzly.

Poletíme-li v oblasti bez klesání nebo stoupání (při nule na variometru), pak nebude rychloměr reagovat na změny rychlosti letadla, protože statický tlak při horizontálním letu zůstává stále stejný a tlak, přivedený do přístroje z nejužšího místa Venturiho trubice se měnit nemůže (v trubici je led).

Budeme-li klesat stále stejnou rychlostí (odhadovanou například sluchem), potom bude rychloměr ukazovat stále větší a větší rychlost, protože při klesání statický tlak stoupá (a tlak z nejužšího místa trubice se vlivem zamrznutí nemění). Přístroj bude za těchto okolností ukazovat stále větší a větší rychlost, což je pro bezpečnost letu s ohledem na možnost pádu nevýhodné.

Při stoupání vlivem stále se zmenšujícího statického tlaku přístroj ukazuje naopak stále menší a menší rychlost.

Dále uvažujme případ, že zamrznou kromě nejužšího průřezu Venturiho trubice i otvory snímání statického tlaku. Potom přístroj ukazuje stále tutéž rychlost jako těsně před zamrznutím bez ohledu na její zvyšování nebo snižování a bez ohledu na změny statického tlaku při stoupání nebo klesání letadla. Tento stav tedy poznáme podle toho, že ručička rychloměru znehybní.

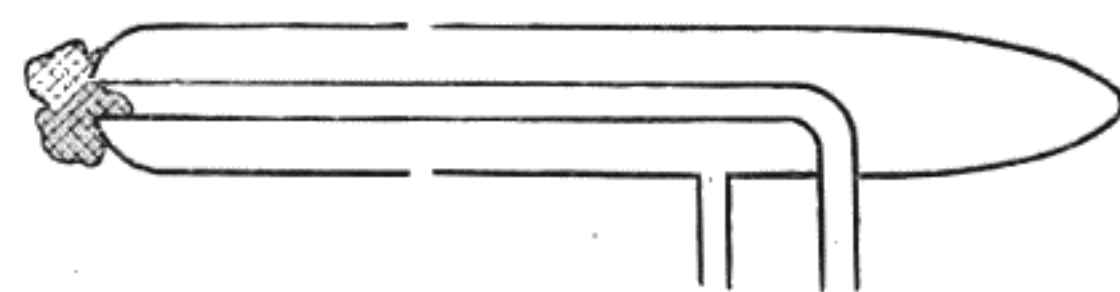


Obr. 6.15. Zamrznutí Venturiho trubice.

b) Máme rychloměr zapojený na Pitotovu trubici

Při letu v oblasti námrazy zamrzne nám zpravidla nejdříve přívod (snímací otvor) celkového tlaku. Otvory statického tlaku předpokládáme volné.

Rychloměr bude při horizontálním letu (variometr na nule) ukazovat stále tutéž rychlost bez ohledu na to, zda ve skutečnosti se rychlost letadla zvětšuje nebo zmenšuje. (Za předpokladu, že i při zvyšování nebo snižování rychlosti neměníme výšku letu, což je ovšem možné jen u motorového letadla.)



Obr. 6.16. Zamrznutí Pitotovy trubice.

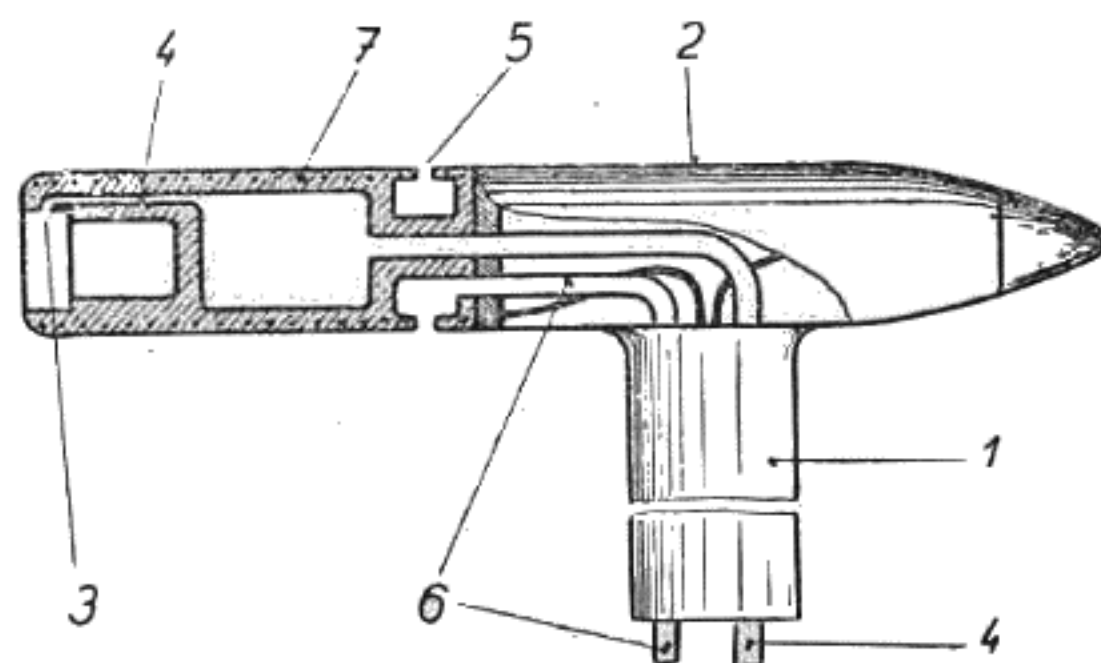
Budeme-li klesat konstantní rychlostí (odhadovanou například sluchem), potom bude rychloměr ukazovat stále menší a menší rychlost, než ve skutečnosti máme. Tento stav je pro bezpečnost letu v oblasti minimální rychlosti příznivý.

Při stoupání konstantní rychlostí bude však přístroj ukazovat stále větší a větší rychlost, protože statický tlak stále klesá, přičemž tlak z otvoru odebírání celkového tlaku se vlivem nánosu ledu nemění.

Zamrznou-li kromě přívodu celkového tlaku i statické otvory, potom rychloměr znehodnotí na údaj, který byl těsně před zamrznutím a přístroj nereaguje ani na změny rychlosti letadla, ani na změny výšky.

Při letu v oblasti námrazy stávají se tedy údaje rychloměru nespolehlivými (ať již jde o rychloměr zapojený na Venturiho nebo Pitotovu trubici). Jednou metodou kontroly správného údaje přístroje je kontrola pádovou rychlostí. Musíme ovšem znát její velikost pro daný typ letadla.

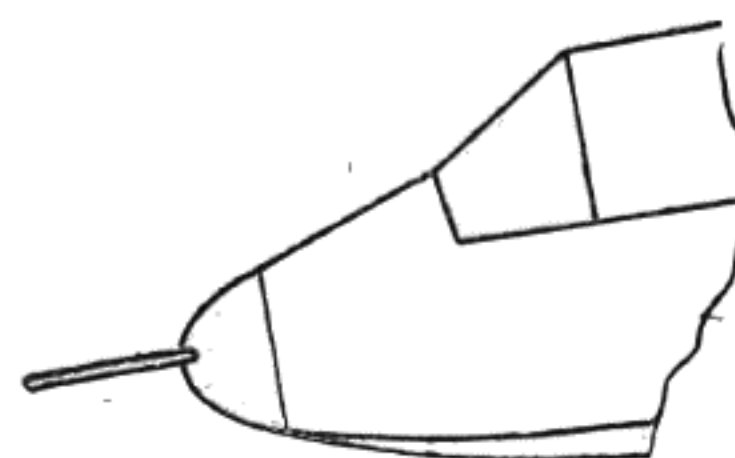
Protože není možné na tomto místě uvést hodnoty pádových rychlostí pro jednotlivé větrone a to hlavně proto, že velikost aerodyna-



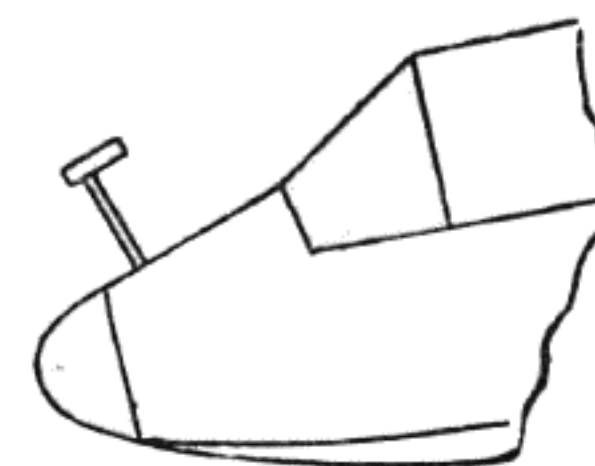
Obr. 6.17. Řez Pitotovou trubicí s elektrickým vytápěním.

1 - držák trubice, 2 - plášť trubice, 3 - místo odběru celkového tlaku, 4 - trubice přívodu celkového tlaku k rychloměru, 5 - statické otvory, 6 - trubice přívodu statického tlaku k rychloměru, 7 - odporový drát topného tělíska.

mické opravy není pro všechny typy ani jednotlivé větrone téhož typu stejná, musí být jediným vodítkem velikost pádové rychlosti (udávané určitým rychloměrem v určitém větroni), zjištěná zkouškou za letu v podmínkách bez námrazy. Nemá-li rychloměr hustotní



Obr. 6.18. Umístění Pitotovy trubice na špičce trupu větrone VT-109 „Pionýr“.



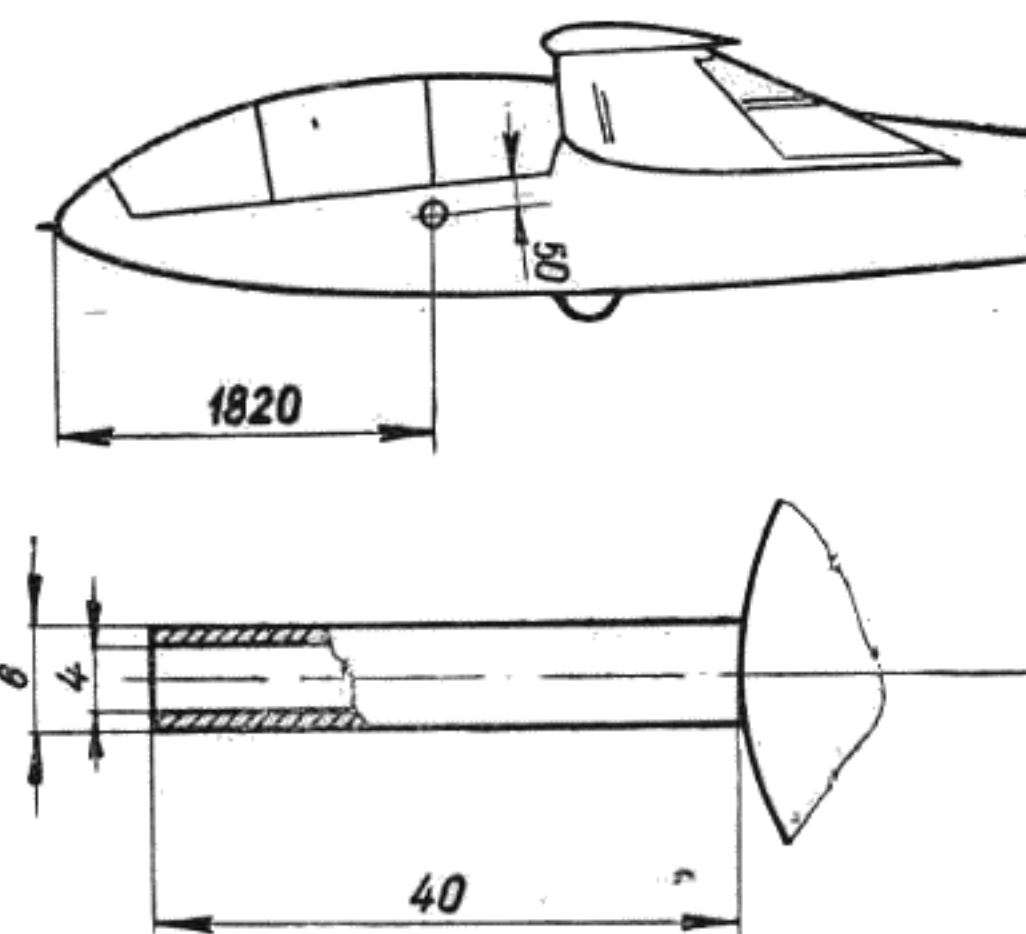
Obr. 6.19. Umístění Venturiho trubice na špičce trupu větrone VT-109 „Pionýr“.

korekci (velká většina rychloměrů ve větronech ji nemá), potom se hodnota pádové rychlosti s výškou nemění, protože údaj rychloměru je úměrný stále výrazu ρv^2 , jak jsme si již uvedli.

Některé Pitotovy trubice mají elektrické vytápění, takže možnost zamrznutí je téměř vyloučena. Obrázek 6.17 ukazuje skutečné provedení Pitotovy trubice s elektrickým vytápěním.

Na držáku 1 je uchycen plášť trubice 2. V místě 3 se odebírá celkový tlak a odvádí trubicí 4 k rychloměru. Statickými otvory 5 se snímá statický tlak a odvádí trubicí 6. V plášti Pitotovy trubice 2 je zabudováno elektrické topné tělísko (odporový drát) 7. Elektrický proud pro vytápění se odebírá z akumulátoru na palubě letadla.

Nutno zdůraznit, že elektrické vytápění je možno zapínat až za letu, protože odporový drát je dimenzován s ohledem na ochlazování proudem vzduchu.



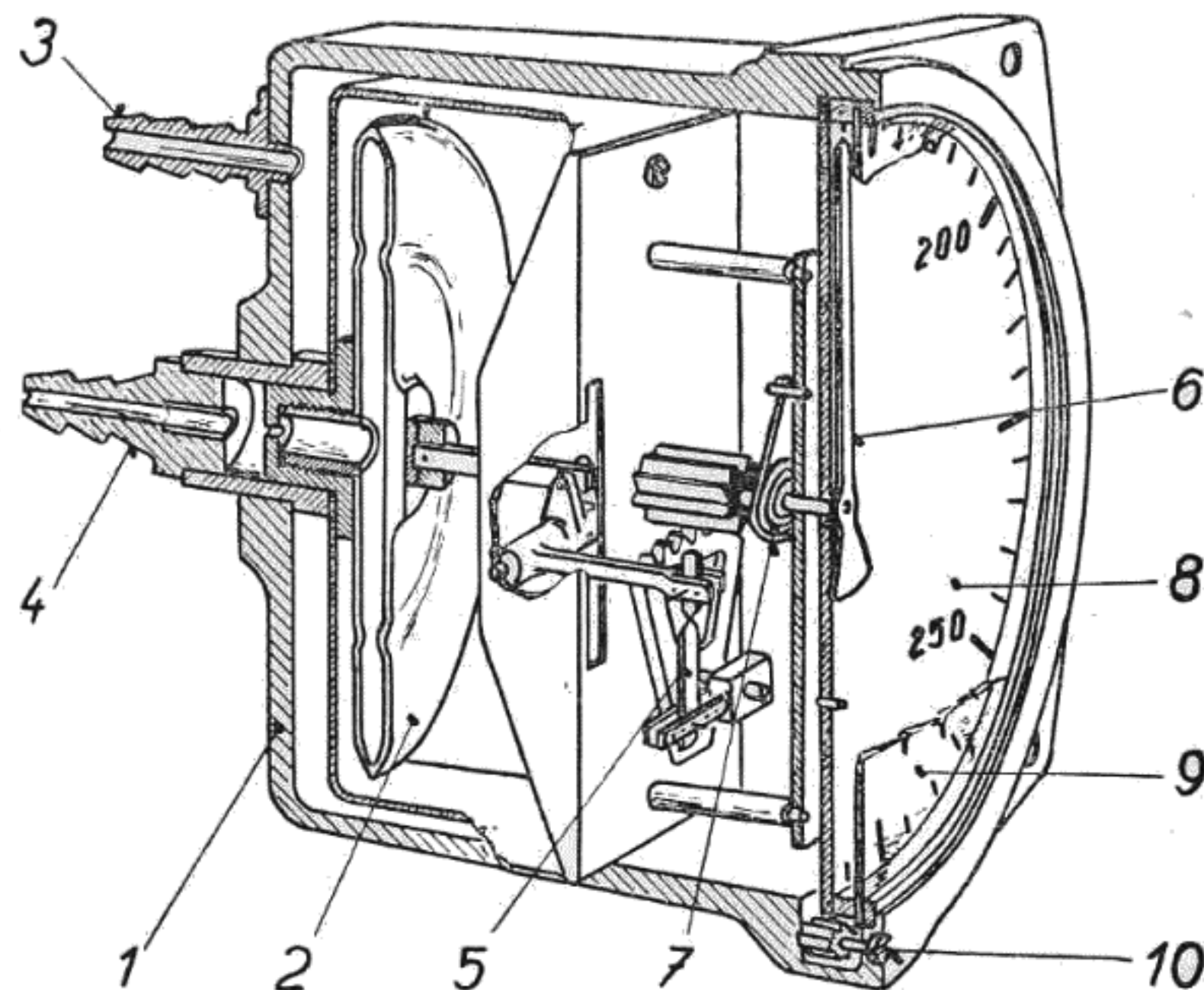
Obr. 6.20. Praktická ukázka odděleného snímání celkového a statického tlaku u větrone L-13 „Blaník“.

Vyhřívání Pitotovy trubice tedy nikdy nezapínáme již na zemi a dbáme toho, abychom je vypnuli před přistáním.

Pitotova trubice bývá u větroňů nejčastěji umístěna ve špičce trupu nebo na držáku na přední části trupu před pilotní kabinou.

Venturiho trubice bývá většinou umístěna na držáku na přední části trupu a to buď v ose symetrie trupu nebo poněkud šikmo.

Umístění Pitotovy trubice ve špičce trupu je zřejmé z obrázku 6.18.



Obr. 6.21. Řez rychloměrem.

1 - pouzdro přístroje, 2 - tlakoměrná krabice, 3 - koncovka přívodu statického tlaku, 4 - koncovka přívodu celkového tlaku, 5 - převodové ústrojí, 6 - ručička, 7 - vlásek, 8 - stupnice, 9 - krycí sklo, 10 - korekční šroubek.

Umístění Venturiho trubice na přední části trupu je zřejmé z obrázku 6.19.

Pro porovnání Venturiho a Pitotovy trubice si ještě uvedme, že Venturiho trubice je citlivější na šikmé ofoukávání než Pitotova trubice.

U novějších větroňů se užívá odděleného snímání celkového a statického tlaku. Celkový tlak se odebrá malým nátrubkem v nosu trupu, statický tlak se odebrá statickými otvory v boku trupu. Tím odpadá dlouhá vyčnívající Pitotova trubice v nosu trupu, jejíž délka

je dána nutností co největší vzdálenosti statických otvorů Pitotovy trubice od nosu trupu, aby statický tlak byl co nejméně ovlivňován přítomností trupu větroně. Umístění statických otvorů do boku trupu v místě, zjištěném pokusně v aerodynamickém tunelu má však jednu nevýhodu, a to citlivost na vybočení trupu (vybočený let).

Praktický příklad odděleného snímání celkového a statického tlaku u větroně L-13 „Blaník“ uvádí obrázek 6.20.

V obrázku je zakreslen detail provedení nátrubku snímání celkového tlaku v nosu trupu.

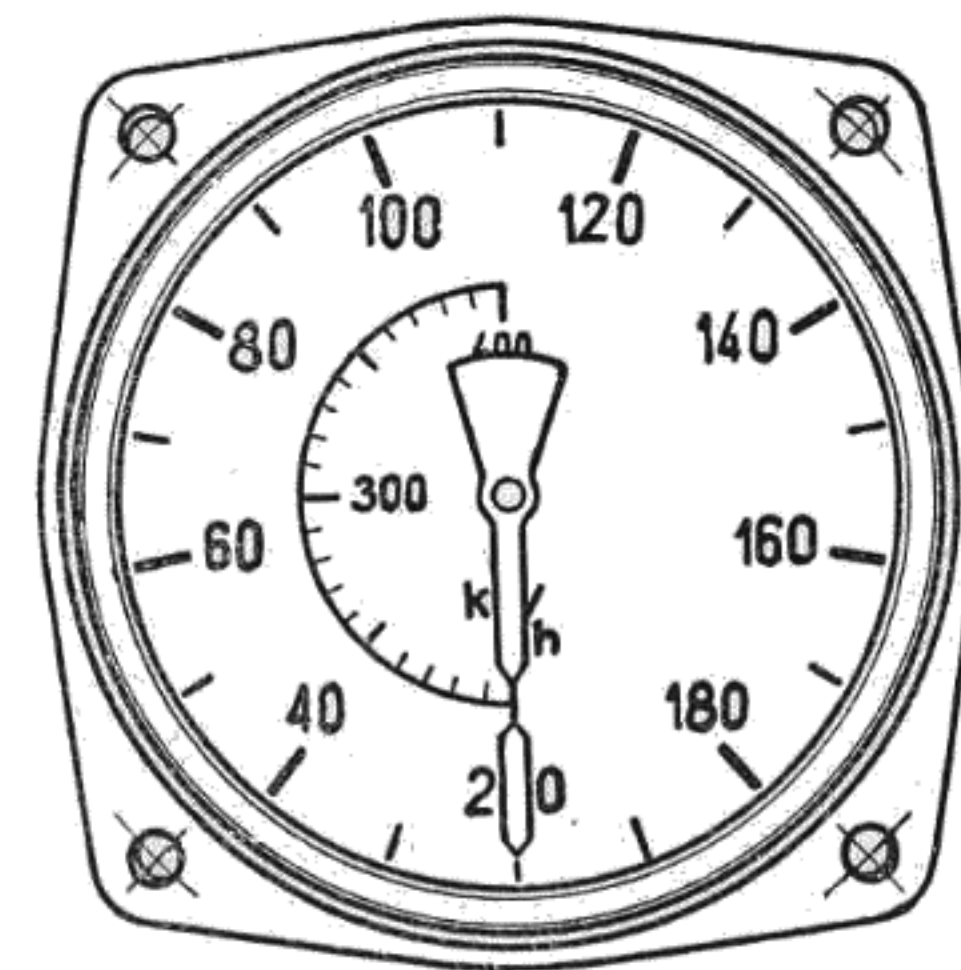
Aerodynamická oprava tohoto systému (pro L-13) je v rozsahu rychlostí 80—100 km/h asi 1 km/h (přístrojová rychlost je o 1 km/h menší než skutečná rychlost). Uvedená hodnota aerodynamické opravy je vzhledem k jiným vlivům zanedbatelná a není třeba s ní počítat.

Při užití systému odděleného snímání celkového a statického tlaku odpadá tedy Pitotova trubice i s držákem na trupu, která stejně jako Venturiho trubice má určitý aerodynamický odpor, který pro nejmodernější větroně není zanedbatelný.

Popišme si nyní skutečné provedení rychloměru, nakreslené na obrázku 6.21, kde je řez rychloměrem s rozsahem do 300 km/h.

V pouzdru přístroje 1 je uchycena tlakoměrná krabice 2. Do pouzdra 1 se koncovkou 3 přivádí statický tlak, do tlakoměrné krabice se koncovkou 4 přivádí celkový tlak. Pohyb volného dna tlakoměrné krabice se (při změně dynamického tlaku, tj. při změně rychlosti letu) přenáší převodovým ústrojím 5 na ručičku 6. Na hřídelku ručičky 6 je vlásek 7. Ručička ukazuje na stupnici 8, kryté krycím sklem 9. Ve spodní části čelní desky přístroje je korekční šroubek 10, kterým je možno jemně natáčet stupnici 8, a tím korigovat základní polohu ručičky vzhledem ke stupnici (aby při nulové rychlosti ručička skutečně ukazovala na nulu stupnice).

V převodovém ústrojí přístroje je zařazena teplotní



Obr. 6.22. Číselník rychloměru s prodlouženou stupnicí.

kompensace (na obrázku nezakreslena), aby se na údajích přístroje neprojevovaly změny teploty a jejich vlivy na mechanismus přístroje.

Popsaný přístroj nemá hustotní korekci.

Obrázek 6.22 uvádí číselník rychloměru československé výroby pro zapojení na Pitotovu trubici s prodlouženou stupnicí v rozsahu 200–400 km/h.

Tohoto rychloměru se užívá ve větronicích. Výhodou je poměrně dobrá čitelnost údajů v rozsahu malých rychlostí.

Uvnitř přístroje je jedna tlakoměrná krabice s osou kolmou k ose pouzdra přístroje. Přístroj nemá hustotní korekci.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Rychlost může být absolutní (vzhledem k zemi) nebo relativní (vzhledem k prostředí). Ve větronicích se měří pouze relativní rychlost.

Pitotova trubice měří celkový a statický tlak, jejichž porovnáním dostaneme dynamický tlak $q = \frac{1}{16} v^2$, který měříme tlakoměrnou krabicí. Přívod statického tlaku vedeme do pouzdra přístroje, přívod celkového tlaku do tlakoměrné krabice. Konstanta Pitotovy trubice je $K = 1$.

Venturiho trubice měří podtlak v nejužším místě, porovnáváný v rychloměru se statickým tlakem. Přívod statického tlaku vedeme opět do pouzdra přístroje, přívod vyvozeného podtlaku do tlakoměrné krabice. Konstanta Venturiho trubice je $K = -3,5$. Venturiho trubice se užívá pro měření menších rychlostí letu.

Z chyb rychloměrného systému je nejzávažnější chyba polohová, která vzniká nevhodným umístěním Pitotovy nebo Venturiho trubice na trup větrone. Venturiho trubice je citlivější na šikmé ofoukávání než trubice Pitotova.

Otvory statického tlaku bývají někdy umístěny na boku trupu.

Přepočet rychlosti v km/h na m/s se provádí podle vztahu $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$.

Kontrolní otázky

1. Co je to absolutní rychlost?
2. Co je to relativní rychlost?
3. Co je to statický tlak a jak jej snímáme?
4. Co je to celkový tlak a jak jej snímáme?
5. Jak vysvětlíme pojem dynamického tlaku a jakým vztahem je dán?
6. Nakreslete schématicky řez Pitotovou trubicí a popište, jaké tlaky snímá!
7. Nakreslete princip rychloměru, zapojeného na Pitotovu trubici!
8. Nakreslete schématicky řez Venturiho trubicí a popište, jaké tlaky snímá!
9. Jak si vysvětlujeme vznik podtlaku v nejužším místě Venturiho trubice?
10. Co je to konstanta Venturiho trubice a jak je velká?
11. Nakreslete princip rychloměru, zapojeného na Venturiho trubici!
12. Lze statický tlak odebírat jinak než Venturiho nebo Pitotovou trubicí (jejich statickými otvory)?
13. Co je to polohová chyba a co ji způsobuje?
14. Co je to aerodynamická chyba a čím je způsobena?
15. Jakou výhodu má rychloměr bez hustotní korekce?

16. Jak se mění pravá vzdušná rychlost vzhledem k rychlosti, udávané rychloměrem bez hustotní korekce?
17. Popište údaje rychloměru, zapojeného na Pitotovu trubici při letu v oblasti námrazy!
18. Popište údaje rychloměru, zapojeného na Venturiho trubici při letu v oblasti námrazy!
19. Jak jsou namontovány Pitotova nebo Venturiho trubice na větroni?
20. Jak je prakticky provedeno oddělené snímání celkového a statického tlaku na větronicích?
21. Popište číselník rychloměru s prodlouženou stupnicí do 400 km/h!

7. VARIOMETRY

Jedním z nejdůležitějších přístrojů pro plachtaře je variometr. Tento přístroj ukazuje rychlost stoupání nebo klesání letadla.

Bylo vyvinuto mnoho typů variometrů, ovšem v podstatě zůstaly nejužívanější dva typy, a to variometr s tlakoměrnými krabicemi a variometr klapkový.

Všechny typy užívají principu měření rychlosti změny statického (barometrického) tlaku s výškou.

Při popisování výškoměrů jsme si řekli, že barometrický tlak vzduchu ubývá s výškou podle určitého zákona. Výškoměry měříme rozdíly barometrického tlaku, variometry naproti tomu měříme, jak rychle tlaku za určitý časový úsek ubývá (když stoupáme), nebo přibývá (když klesáme).

Abychom si celý princip objasnili, popíšeme si jednotlivé typy variometrů.

7.1. VARIOMETR S TLAKOMĚRNÝMI KRABICEMI

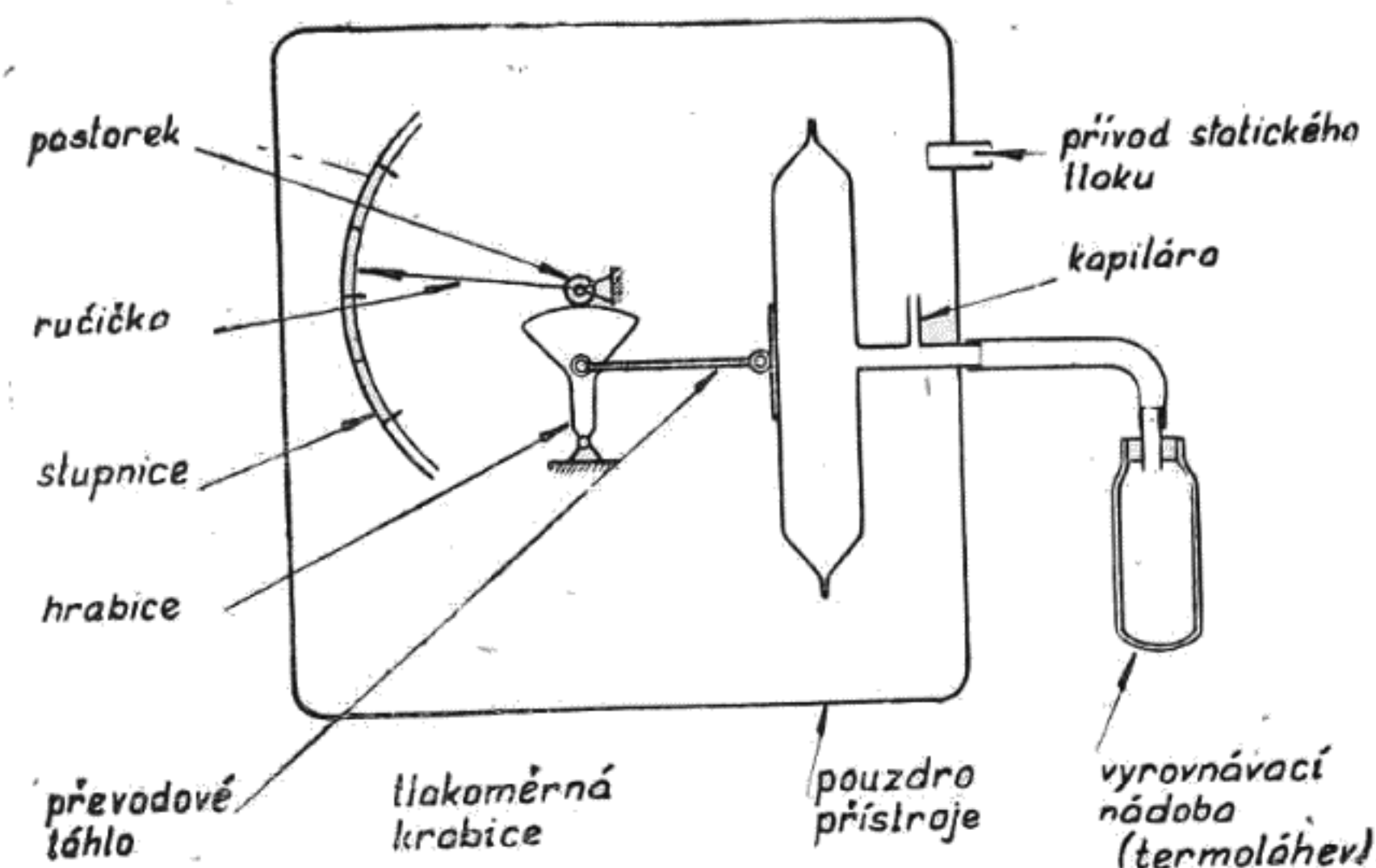
Jeho schéma je zřejmé z obrázku 7.1.

Do vzduchotěsně uzavřeného pouzdra přístroje přivádíme statický tlak. Druhý přívod je zapojen na termoláhev, která nám slouží jako zásobník určitého objemu vzduchu. Láhev je tepelně izolována dvojitou skleněnou stěnou, mezi níž je odčerpán vzduch stejně jako u termoláhve, které užíváme v domácnosti, takže vzduch uvnitř neovlivňují změny teploty. Přívod od termoláhve vede do tlakoměrné krabice. V tomto přívodu je upraven jemný otvor (který ve skutečnosti tvoří skleněná trubička s malým vnitřním průřezem, které říkáme kapilára).

Tlakoměrná krabice (její volné dno) je převodem, tvořeným táhlem, hrabíci a pastorkem, spojena s ručičkou, ukazující na stupnici.

Letíme-li stále ve stejné výšce, přesněji řečeno v hladině určitého barometrického tlaku, vyrovnává se tlak v pouzdru přístroje (které je vývodem spojeno s místem, kde odebíráme statický tlak, tj. například se statickým vývodem Venturiho nebo Pitotovy trubice)

s tlakem uvnitř tlakoměrné krabice (kterou kapilára spojuje s prostorem v pouzdru přístroje). Variometr ukazuje nulu. Nyní začneme stoupat. Barometrický tlak začne klesat, tedy klesá tlak uvnitř pouzdra přístroje. V odděleném prostoru v termoláhvi je ještě stejný tlak, jaký tam byl při horizontálním letu. Tento tlak je vyšší než barometrický tlak v pouzdru přístroje, který stále klesá, tedy tlakoměrná krabice se deformuje. Převodové táhlo se bude pohybo-



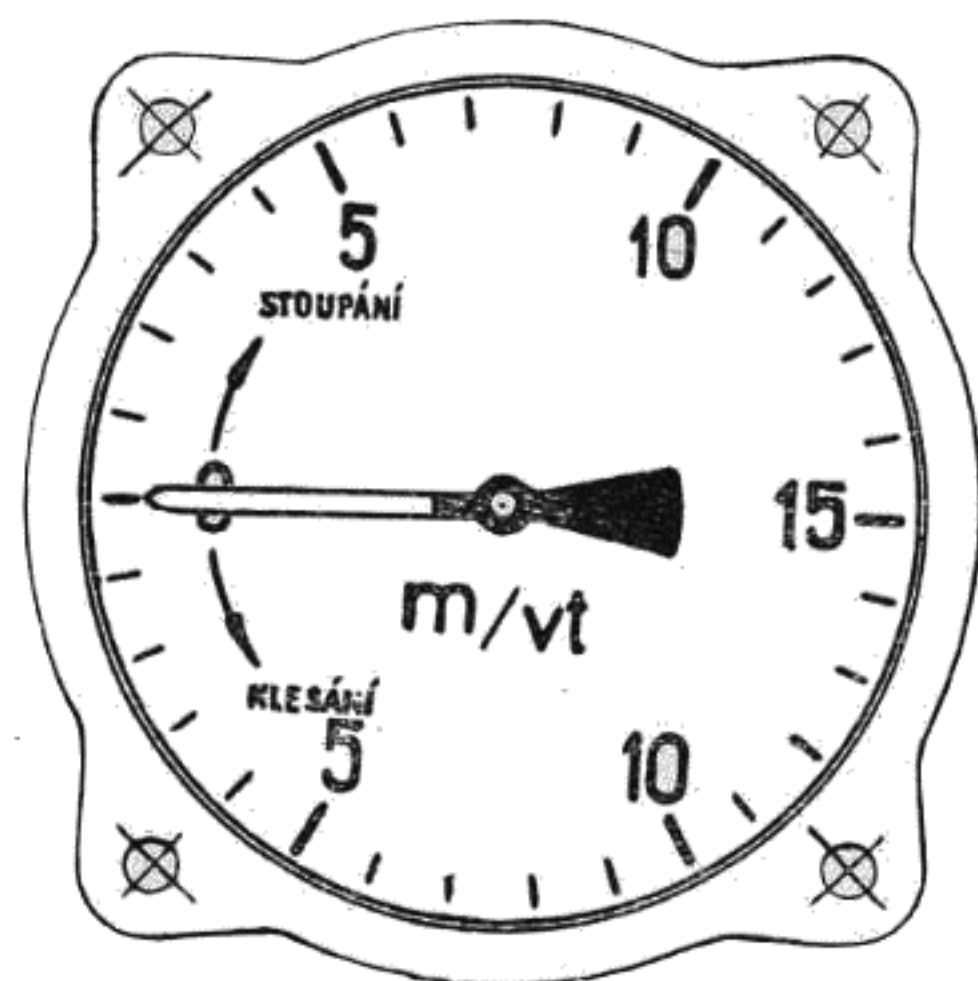
Obr. 7.1. Schéma variometru s tlakoměrnými krabicemi.

vat směrem doleva a ručička s ním přes hrabici a pastorek spojená se začne pohybovat ve smyslu pohybu hodinových ručiček. Toto by byla stejná funkce jako u výškoměru. My však víme, že prostor termoláhve a prostor pouzdra přístroje jsou navzájem spojeny kapilárou. Jakmile nastane v obou prostorech rozdíl tlaků (začneme-li například stoupat), bude vzduch přefukovat kapilárou z jednoho prostoru do druhého (při stoupání z prostoru termoláhve do prostoru pouzdra přístroje). Rychlost přefukování bude tím větší, čím rychleji se mění tlak, tj. čím rychleji stoupáme. Otvor kapiláry má určitou velikost, tedy existuje určitá hranice v rychlosti přefukování. Ručička přístroje bude se tedy pohybovat tak dlouho, až se vyrovná ubývání tlaku vlivem stoupání letadla s přefukováním vzduchu kapilárou.

Budeme-li tedy stoupat delší dobu ve stoupavém proudu o stále hodnotě stoupání, ustálí se po určité době (až se ubývání tlaků a pře-

fukování kapilárou vyrovnají) ručička variometru na hodnotě, odpovídající danému stoupání větroně.

Nepříjemná je právě ta „určitá doba“, po které teprve nastane vyrovnání. Této době říkáme zpoždění údaje variometru, nebo někdy „časová konstanta variometru“. Její hodnota pro užívané druhy variometrů s tlakoměrnými krabicemi je asi 3–5 vteřin.



Obr. 7.2. Číselník variometru s tlakoměrnými krabicemi.

proudů. Charakteristický tvar číselníku variometru s tlakoměrnými krabicemi uvádí obrázek 7.2.

Všimněme si, že nulová poloha ručičky je vodorovně vlevo, takže pohyb ručičky je při stoupání větroně nahoru, při klesání dolů, což odpovídá smyslu pohybu letadla a je názorné.

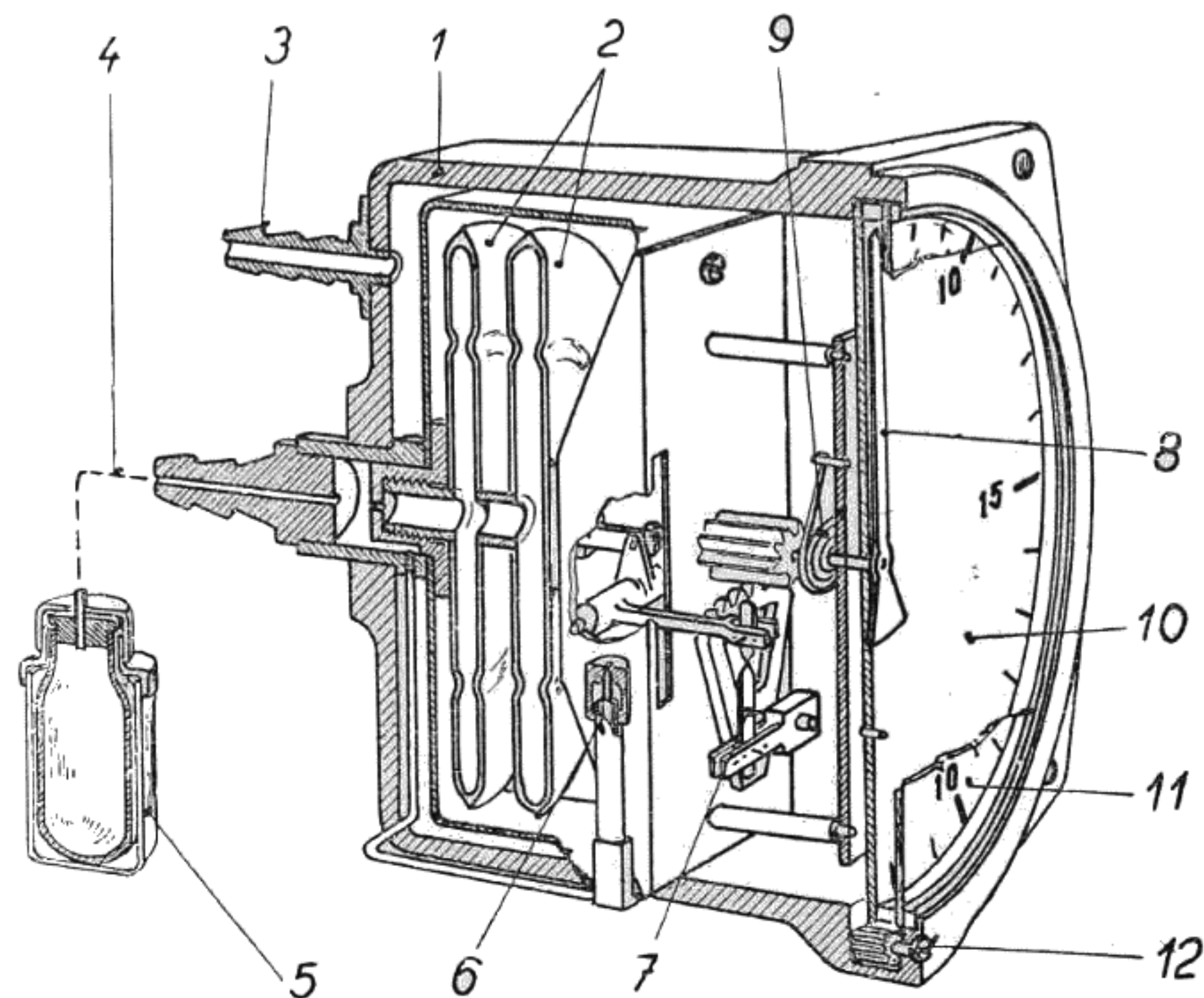
Variometry s tlakoměrnými krabicemi mívají rozsah stupnice do ± 15 m/s, nebo ± 30 m/s.

Stupnice variometrů jsou cejchovány v m/s (u některých cizích typů ve stopách/vteřinu, tj. ft/s).

Na obrázku 7.3 je řez variometrem s tlakoměrnými krabicemi.

V pouzdra přístroje 1 je uchycena dvojice tlakoměrných krabic 2. Do pouzdra přístroje 1 se koncovkou 3 přivádí statický tlak, do tlakoměrných krabic 2 je přiveden přívod 4 od termoláhve 5. Prostor pouzdra přístroje a prostor termoláhve spojuje kapilára 6. Pohyb volného dna tlakoměrných krabic se při vyvození rozdílu tlaků (při stoupání nebo klesání letadla) převádí převodovým ústrojím 7 na ručičku 8. Na hřídelce ručičky 8 je vlásek 9. Ručička ukazuje na stupnici 10, krytou krycím sklem 11. Ve spodní části čelní desky přístroje je korekční šroubek 12, kterým je možno jemně natáčet

stupnicí 10 a tím korigovat základní polohu ručičky vzhledem ke stupnici (aby při nulovém stoupání, tedy například i v případě, že větroň stojí na zemi, ukazovala ručička skutečně na nulu stupnice).



Obr. 7.3. Řez variometrem s tlakoměrnými krabicemi.

1 - pouzdro přístroje, 2 - dvojice tlakoměrných krabic, 3 - koncovka přívodu statického tlaku, 4 - přívod od termoláhve, 5 - termoláhev (na obrázku zmenšená), 6 - kapilára, 7 - převodové ústrojí, 8 - ručička, 9 - vlásek, 10 - stupnice, 11 - krycí sklo, 12 - korekční šroubek.

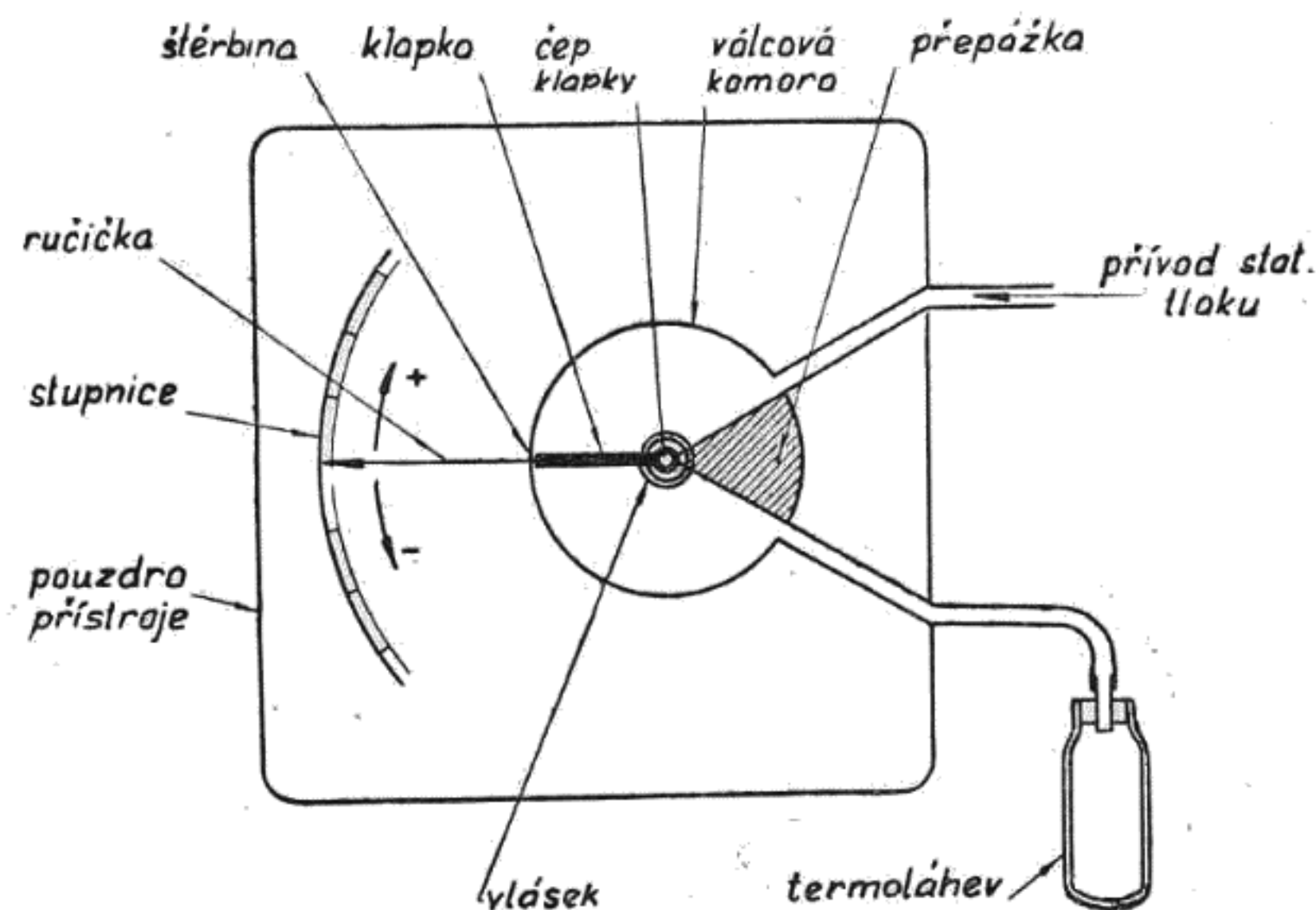
7.2. KLAPKOVÝ VARIOMETR

Klapkový variometr je druhým základním typem variometru. Jeho schéma je zřejmé z obrázku 7.4.

Uvnitř pouzdra přístroje je umístěna válcová komora, která je přepažena přepážkou a klapkou, otočně uloženou na čepu klapky, na dva prostory. Horní prostor je spojen s přívodem statického tlaku, spodní prostor s prostorem termoláhve. Klapka se ve válcové komoře pohybuje s malou vůlí, štěrbínou, která má stejný účel jako kapilára u variometru s tlakoměrnými krabicemi. Na čepu klapky je přímo

uchycena ručička přístroje, která přímo, bez převodů ukazuje na stupnici. Stupnice je cejchována přímo v jednotkách rychlosti stoupání, tedy v m/s. Na nule (v základní poloze) drží klapku a tedy i ručičku vlásek.

Štěrbina mezi klapkou a stěnou válcové komory je poměrně velká (0,05 ÷ 0,1 mm) ve srovnání s průřezem kapiláry variometru s tlakoměrnými krabicemi, takže zpoždění údaje klapkového variometru



Obr. 7.4. Schéma klapkového variometru.

bude menší (asi 1 vteřina), než u variometru s tlakoměrnými krabicemi. Ke zmenšení zpoždění údaje přístroje přispívá také skutečnost, že spojení klapky s ručičkou je přímé, bez převodů, takže odpadá vliv setrvačných hmot jednotlivých částí převodu.

Vysvětleme si nyní funkci klapkového variometru.

Letíme-li horizontálně (v hladině určitého barometrického tlaku vzduchu), bude tlak v horní části komory (přes štěrbinu) vyrovnaný s tlakem v dolní části komory, takže klapka je ve střední poloze (v této poloze ji drží vlásek) a ručička přístroje ukazuje nulu.

Začneme-li stoupat, klesá statický tlak, tedy klesá i tlak v horní části komory, zatím co tlak v dolní části komory (pod klapkou) je stejný, jako byl v horizontálním letu, protože spodní část komory je spojena s uzavřeným prostorem termoláhve. Klapka se začne pohybovat nahoru (ve směru pohybu hodinových ručiček) do oblasti

menšího tlaku a pohybuje se tak dlouho, až se vyrovná ubývání tlaku v horní části komory a přefukování vzduchu štěrbinou z prostoru většího tlaku do prostoru menšího tlaku vzduchu, tedy ze spodní části komory do horní. Budeme-li stoupat v ustáleném stoupavém proudu, ustálí se po době asi 1 vteřiny (zpoždění údaje variometru) ručička na stupnici na hodnotě, odpovídající velikosti stoupání větroně.

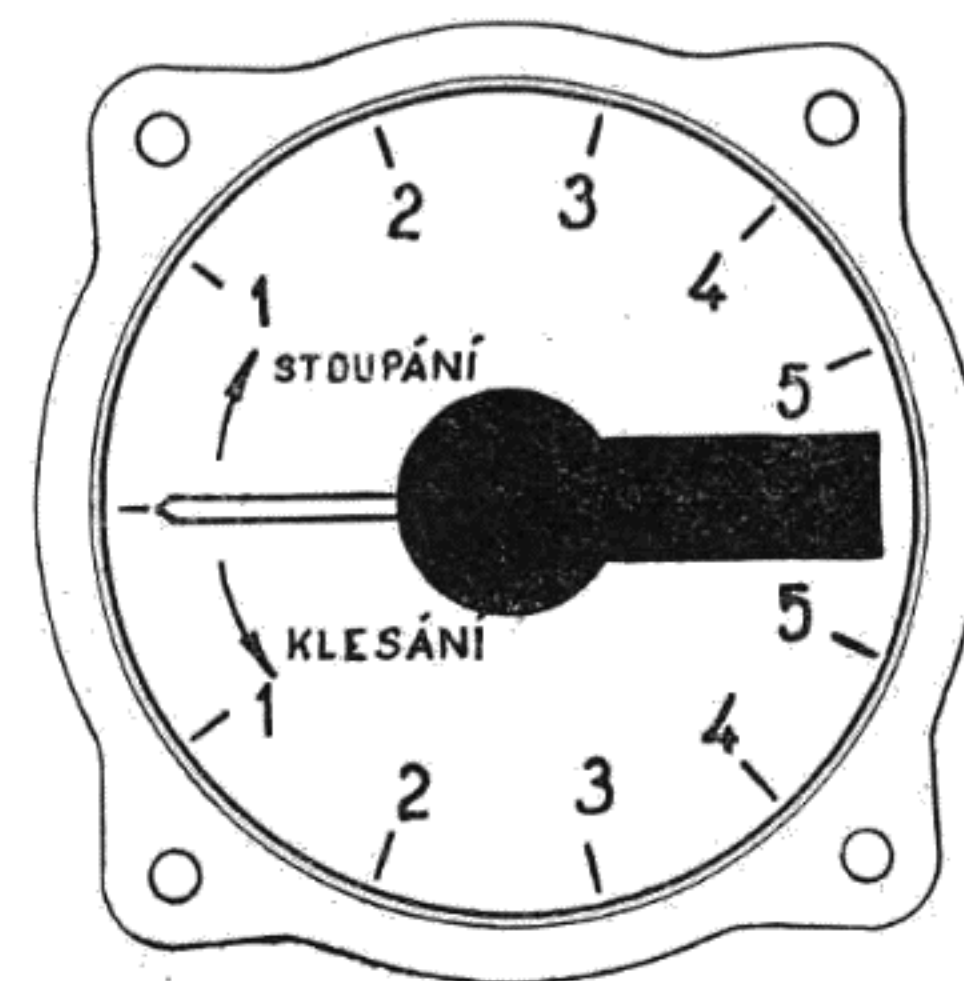
Klesáme-li, stoupá tlak v horní části komory. Tlak v izolovaném prostoru termoláhve je stejný, jako v předcházejícím horizontálním letu. Tlak v horní části komory bude tedy stále větší a větší než tlak ve spodní části komory. Klapka se bude pohybovat do prostoru menšího tlaku, tedy do spodní části komory a ručička spojená s klapkou se bude pohybovat dolů (proti směru pohybu hodinových ručiček). Protože mezi klapkou a stěnou válcové komory je štěrbinu, bude vzduch přefukovat současně z prostoru většího tlaku do prostoru menšího tlaku, tedy z horní části komory do dolní části komory. V určitém okamžiku nastane rovnováha mezi ubýváním tlaku v horní a dolní části komory a mezi přefukováním (zároveň musí nastat rovnováha mezi momentem vyvozeným vláskem a momentem vyvozeným klapkou), takže ručička přístroje se ustálí na určité hodnotě, odpovídající klesání větroně.

Charakteristický tvar číselníku klapkového variometru znázorňuje obrázek 7.5.

Nulová poloha ručičky přístroje je vodorovně vlevo. Všimněme si černé masky, která kryje spojení klapky s ručičkou a vlásek. Podle této masky poznáme na první pohled klapkový variometr.

Klapkové variometry, užívané ve větroních, mají stupnici s rozsahem většinou ± 5 m/s.

Maska na krycím skle kryje také směrovou pružinu (vlásek), jejíž moment působí proti momentu, vzniklému rozdílem tlaků v obou komorách. Při ustáleném stoupání nebo klesání se moment vlásku a klapky právě vyrovnají. Vlasek zároveň vrací při nulovém stoupání ručičku přístroje na nulu a udržuje ji v ní.



Obr. 7.5. Číselník klapkového variometru.

Aby se jemný systém přístroje při větším stoupání než je rozsah přístroje neporušil, je šterbina vně rozsahu pohybu klapky značně rozšířena, takže „přefukování“ vzduchu z jednoho prostoru komory do druhého se několikanásobně zvětší a přístroj se nepoškodí. (Například při startu za navijákem, kdy stoupání větroně přesahuje někdy až hodnotu $+20$ m/s, se přístroj s rozsahem jen do $+5$ m/s nepoškodí.)

V dnešní době se stále více a více používá variometrů s termoláhví, zabudovanou přímo do prostoru pouzdra přístroje. Celý přístroj vychází sice větší, ale odpadá samostatná termoláhev, kterou je nutno pečlivě chránit před poškozením a otřesy (je skleněná stejně jako termoláhev, užívané v domácnostech). Vývod z termoláhy do vlastního přístroje je tedy také uvnitř pouzdra přístroje, takže takový variometr má pouze jeden vývod, a to vývod (přívod) statického tlaku.

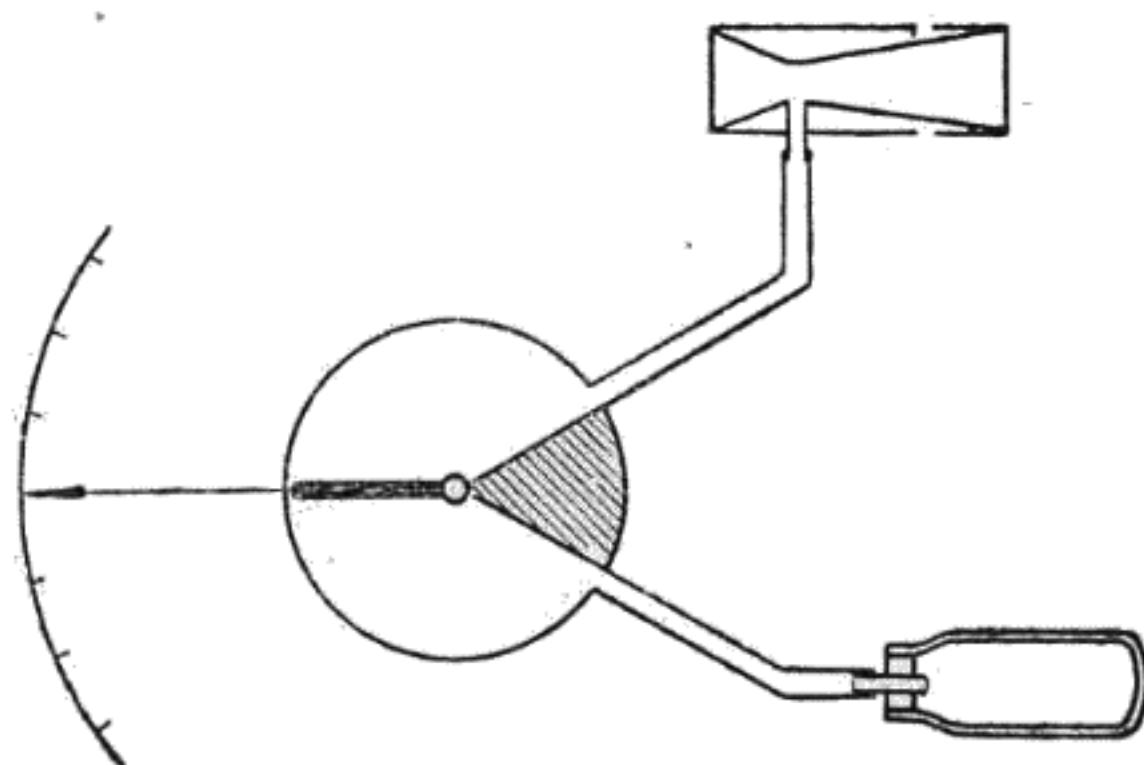
7.3. VARIOMETR CELKOVÉ ENERGIE (TEVAR)

Normální variometr, jehož dva základní typy (variometr s tlakoměrnými krabicemi a variometr klapkový) jsme si probrali, má jednu velkou nevýhodu. Ukazuje totiž velikost stoupání nebo klesání letadla bez ohledu na to, jakým způsobem ke stoupání nebo klesání došlo. Ukazuje nejen stoupání při letu ve stoupavém proudu, ale také stoupání vzniklé tím, že jsme krátkodobě zmenšili rychlost letu přitažením výškového kormidla (například po strmém klouzavém letu jsme přitažením výškového kormidla způsobili dočasné stoupání větroně). V této situaci nedovedeme z údaje normálního variometru rozlišit, jaká část udávaného stoupání přísluší stoupavému proudu a jaká část stoupání vlivem přitažení.

Uvedme si příklad.

Letíme rychlostí 100 km/h a variometr ukazuje klesání -3 m/s. V přímém letu nalétáváme hranici stoupavého proudu, což poznáme

podle charakteristické turbulence. Snižujeme proto rychlost větroně, abychom se připravili ke kroužení (které provádíme menší rychlostí než 100 km/h, například 80 km/h). Vzápětí po snížení rychlosti s uspokojením konstatujeme, že ručička variometru ukazuje na stoupání $+2$ m/s. Reagujeme na to přechodem



Obr. 7.6. Schéma zapojení Tevaru na speciální Venturiho trubici.

do kroužení. Nedokončíme však ani jednu zatáčku o 360° a ručička variometru klesá zase pod nulu. V čem je příčina? Je to chyba variometru? Nikoliv. Větroně skutečně krátkou dobu stoupal, ale jenom vlivem zásahu výškového kormidla. Po ustálení nové rychlosti (například námi zvolených 80 km/h) se stoupání skončilo a ručička variometru se opět vrátila na klesání, protože velikost stoupavého proudu nepřevyšovala velikost klesání větroně a větroně tedy v takovém „slabém“ stoupavém proudu bude klesat.

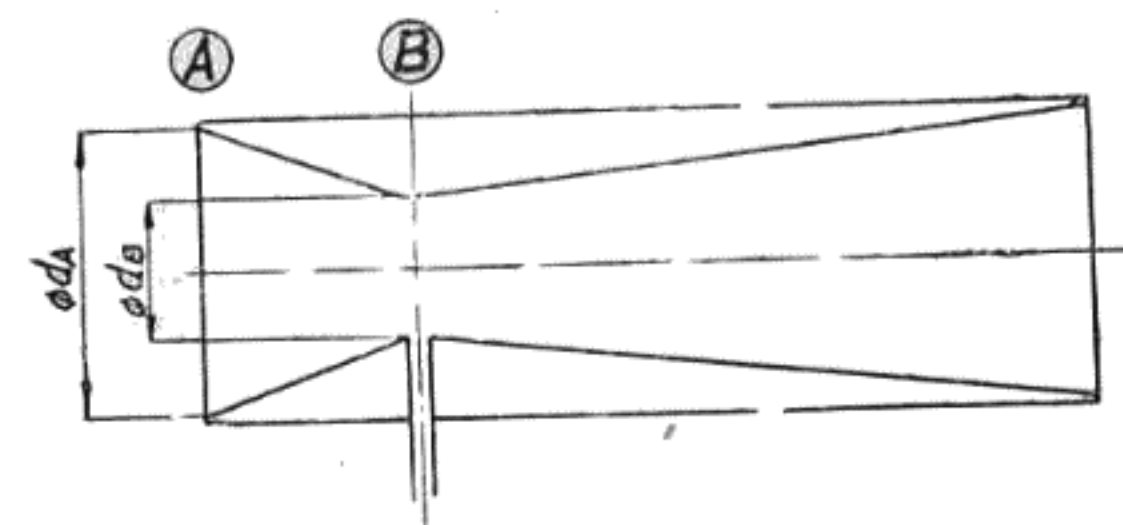
Je zřejmé, že provedeme-li takový „manévr“ několikrát, stojí nás to mnoho metrů cenné výšky a mnohdy to znamená i předčasné ukončení letu nebo přeletu.

Proto byl vyvinut nový typ variometru, který reaguje pouze na stoupání vlivem stoupavého proudu a vylučuje vliv stoupání, vzniklého přitažením výškového kormidla.

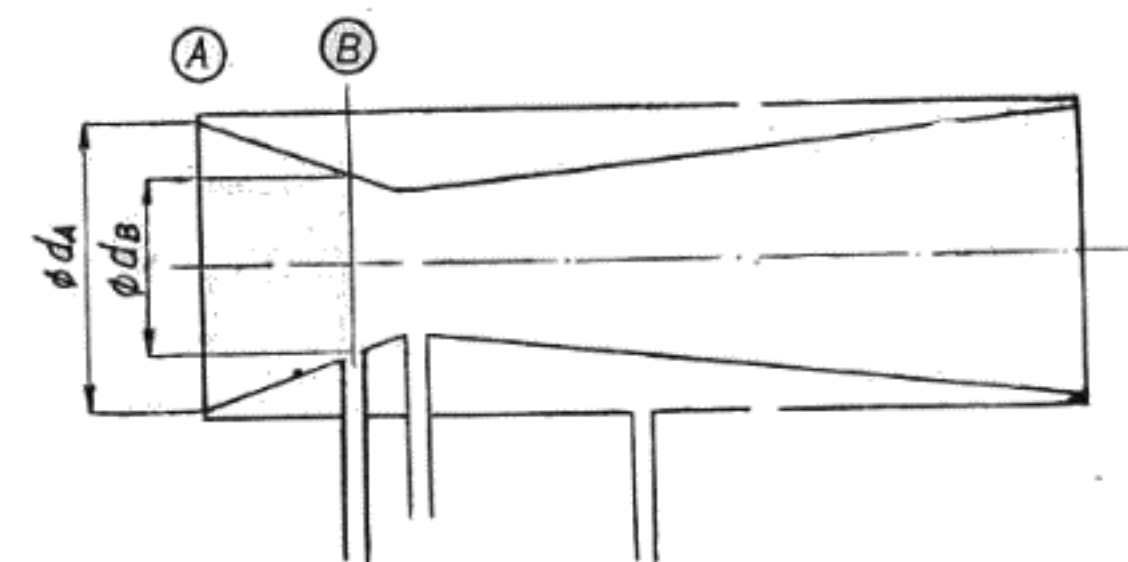
Princip tohoto zlepšení spočívá v tom, že odpojíme variometr od přívodu statického tlaku a přepojíme ho na přívod od speciální Venturiho trubice, jak je zřejmé z obrázku 7.6. Zúžení průřezu je u této Venturiho trubice voleno tak, aby konstanta trubice byla $K = -1$, takže rozdíl tlaků, vzniklý vlivem zvýšení nebo snížení rychlosti v dýze Venturiho trubice je stejný (ale opačného znaménka), jako rozdíl statického tlaku, vzniklý zvětšeným nebo zmenšeným klesáním vlivem zvýšené nebo snížené rychlosti.

Při letu ustálenou rychlostí ukazuje Tevar (Total Energy Variometer) shodně s normálním variometrem.

V kapitole o rychloměrech jsme se podrobně zabývali odvozením konstanty Venturiho trubice. Můžeme si tedy nyní s použitím vztahů z kapitoly 6. vypočítat,



Obr. 7.7. Schématický řez Venturiho trubici.



Obr. 7.8. Upravená Venturiho trubice pro Tevar z normální Venturiho trubice.

jaký poměr průměrů nejširšího a nejužšího průřezu trubice musíme volit, aby konstanta trubice byla $K = -1$.

Uvedli jsme si, že

$$K = \frac{d_A^4}{d_B^4} - 1,$$

kde d_A a d_B jsou průměry v řezech trubice A a B, podle obrázku 7.7.

Pro $K = -1$ dostaneme

$$-1 = -\left(\frac{d_A^4}{d_B^4} - 1\right)$$

z toho

$$\frac{d_A}{d_B} = \sqrt[4]{2} = 1,18$$

Můžeme si takovou trubici vyrobit, přičemž poměr průměrů v místech A a B bude 1,18 : 1. (Ve skutečnosti ovšem vlivem různých vlivů nebude i při dodržení poměru průměrů konstanta trubice souhlasit s hodnotou $K = -1$, nýbrž budeme ji muset poopravit u každé trubice zvlášť, a to buď v aerodynamickém tunelu, nebo za letu, jak je popsáno dále.)

Takovou trubici lze buď vyrobit novou, nebo si upravit starší normální Venturiho trubici s $K = -3,5$ tím, že vytvoříme přídatný otvor tak, aby poměr průměrů největšího a zvoleného byl opět 1,18.

Provedení je zřejmé z obrázku 7.8.

$$d_A = 1,18 \cdot d_B$$

Tato koncepce má tu výhodu, že můžeme použít původních vývodů pro ostatní přístroje (rychloměr, výškoměr a podobně) a nemusíme mít ještě jednu Venturiho trubici pro uvedené přístroje. Nevýhoda této koncepce je ovšem v tom, že nepodaří-li se nám umístit nový vývod trubice přesně do stanoveného místa, tj. nedosáhneme-li konstanty trubice $K = -1$, nemůžeme ji již korigovat (například korekčním šroubkem v zadní části trubice, jak je uvedeno dále), protože bychom tím ovlivnili také vývod pro $K = -3,5$, tedy konstantu, pro kterou je cejchován rychloměr. Proto je výhodnější druhá alternativa, tj. Venturiho trubici s konstantou $K = -1$ si vyrobíme.

Praktické provedení takové speciální Venturiho trubice je uvedeno na výkresech v obrázcích 7.9, 7.10, 7.11.

Venturiho trubice v tomto provedení byly zamontovány na třech větronicích VT-425 účastníků Pražského kraje na III. CPZ podle návrhu inž. J. Marka.

Na obrázku 7.9 si všimněme korekčního šroubku v zadní části trubice, jehož zašroubováním nebo vyšroubováním je možno přesně nastavit konstantu trubice na $K = -1$. Ve výtokovém průřezu trubice je clonka, která způsobuje, že konstanta trubice zůstává stejná pro všechny užívané rychlosti letu (konstanta trubice se nemění se změnou Reynoldsova čísla).

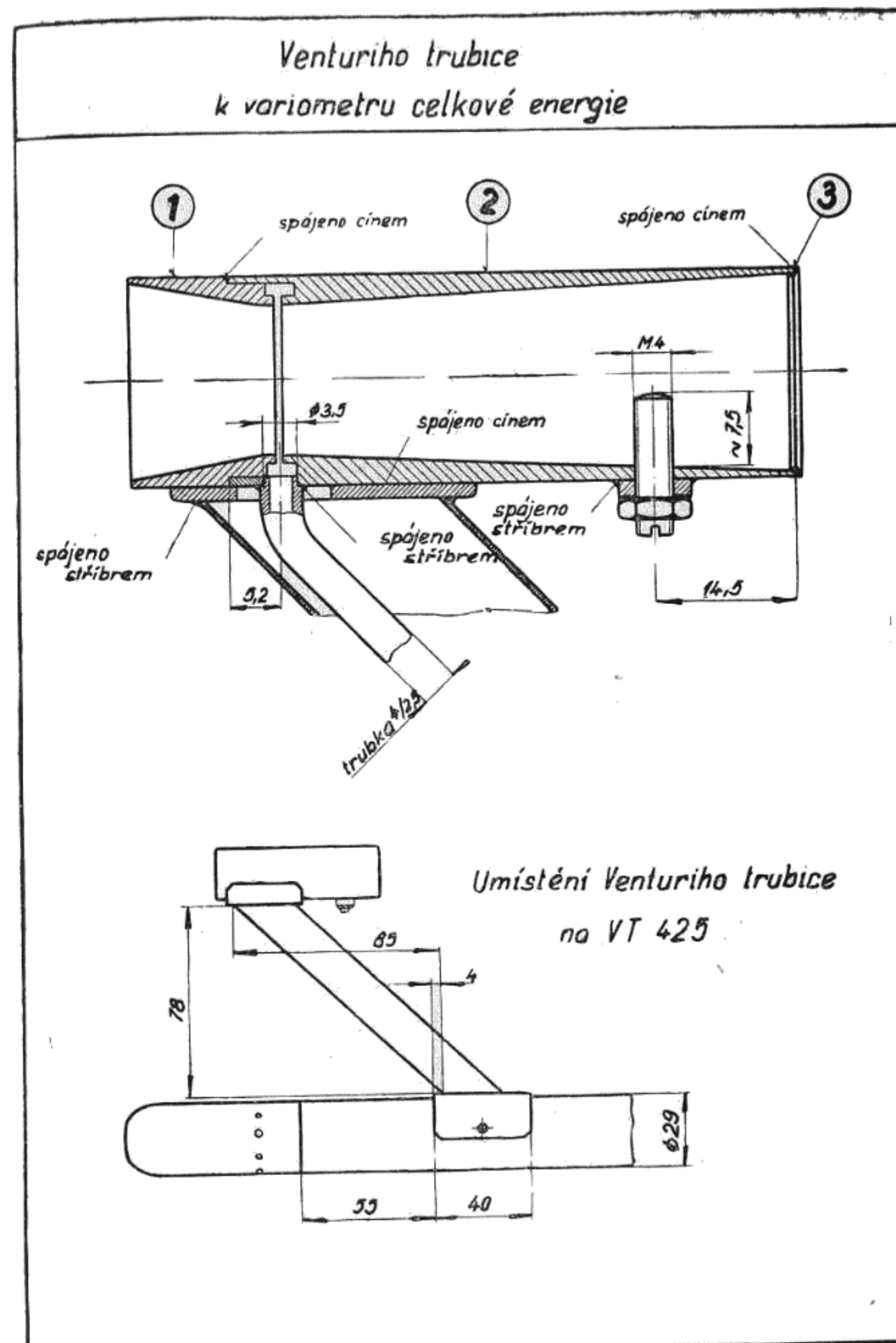
Uvedená trubice byla měřena v aerodynamickém tunelu.

Nemáme-li možnost nastavit konstantu v aerodynamickém tunelu, musíme to provést zkušebními lety.

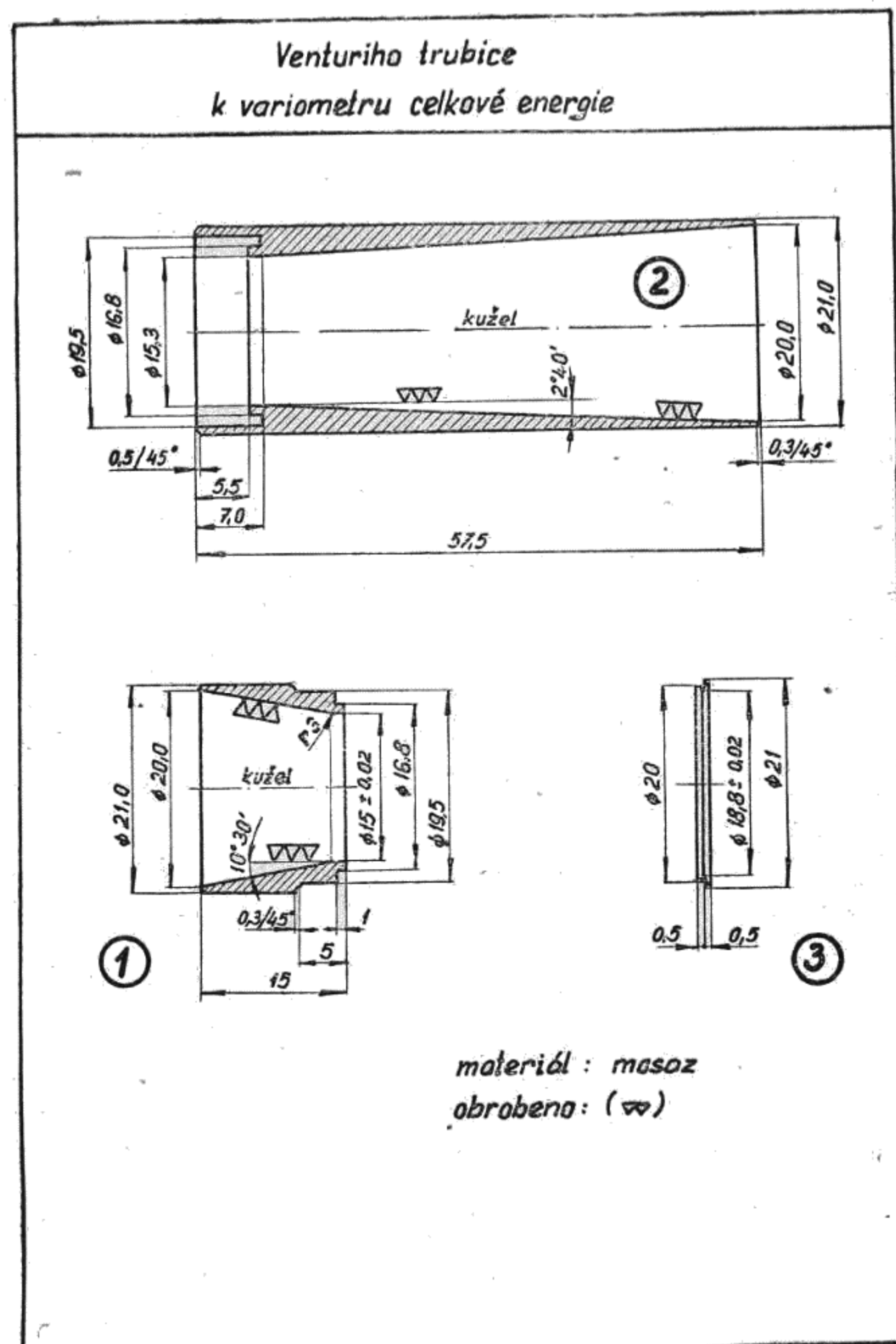
Řídíme se těmito pravidly:

a) Letíme-li za klidného počasí (bez výskytu stoupavých proudů) zvýšenou rychlostí a přitáhneme výškové kormidlo, nesmí se ručička variometru celkové energie (Tevaru), zapojeného na zkoušenou Venturiho trubici s $K = -1$, pohnout ze stávající polohy. Potom je konstanta trubice skutečně přesně $K = -1$.

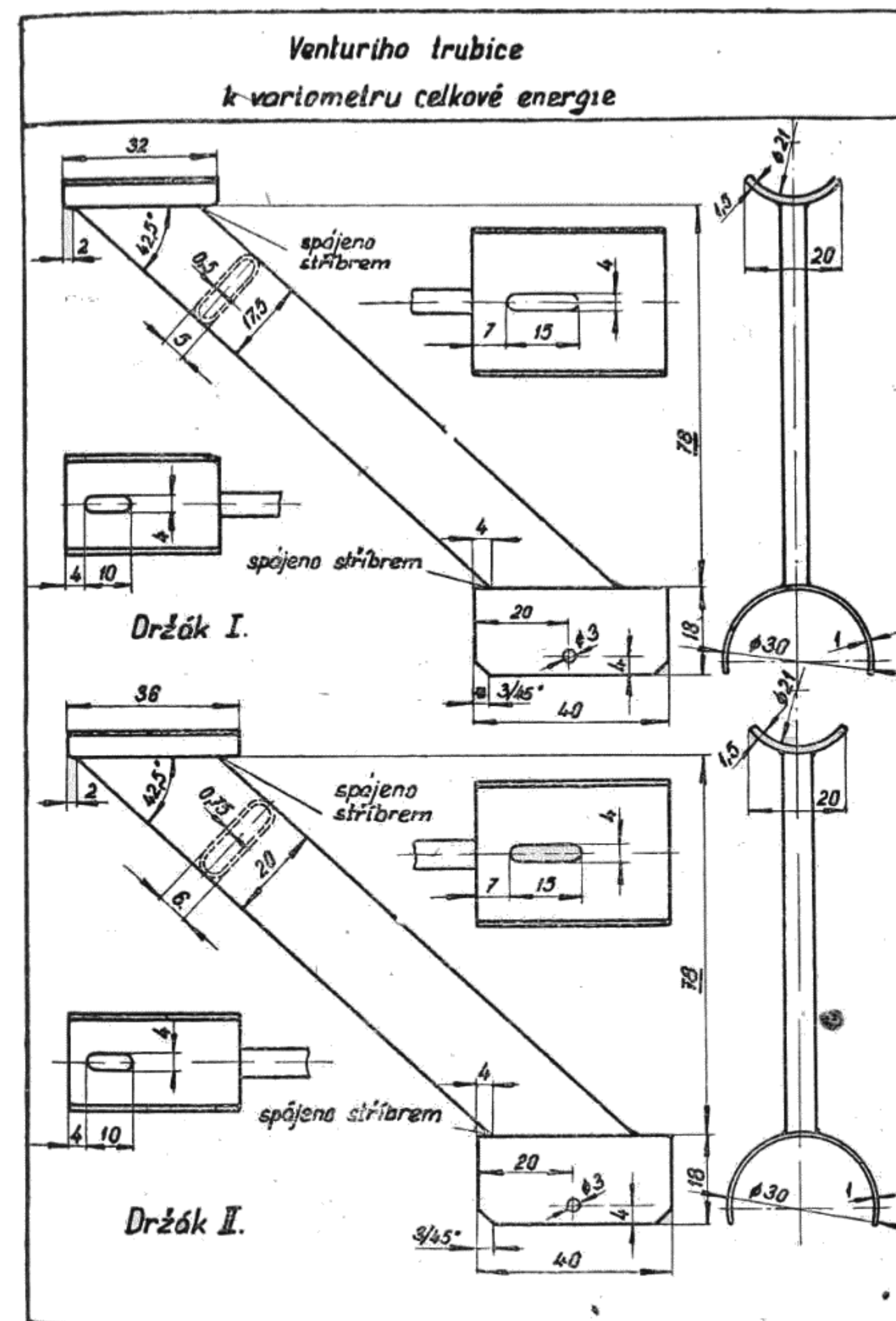
b) Letíme-li za stejných podmínek zvýšenou rychlostí a při přitážení výškového



Obr. 7.9. Praktická ukázka speciální Venturiho trubice.



Obr. 7.10. Praktická ukázka speciální Venturiho trubice.

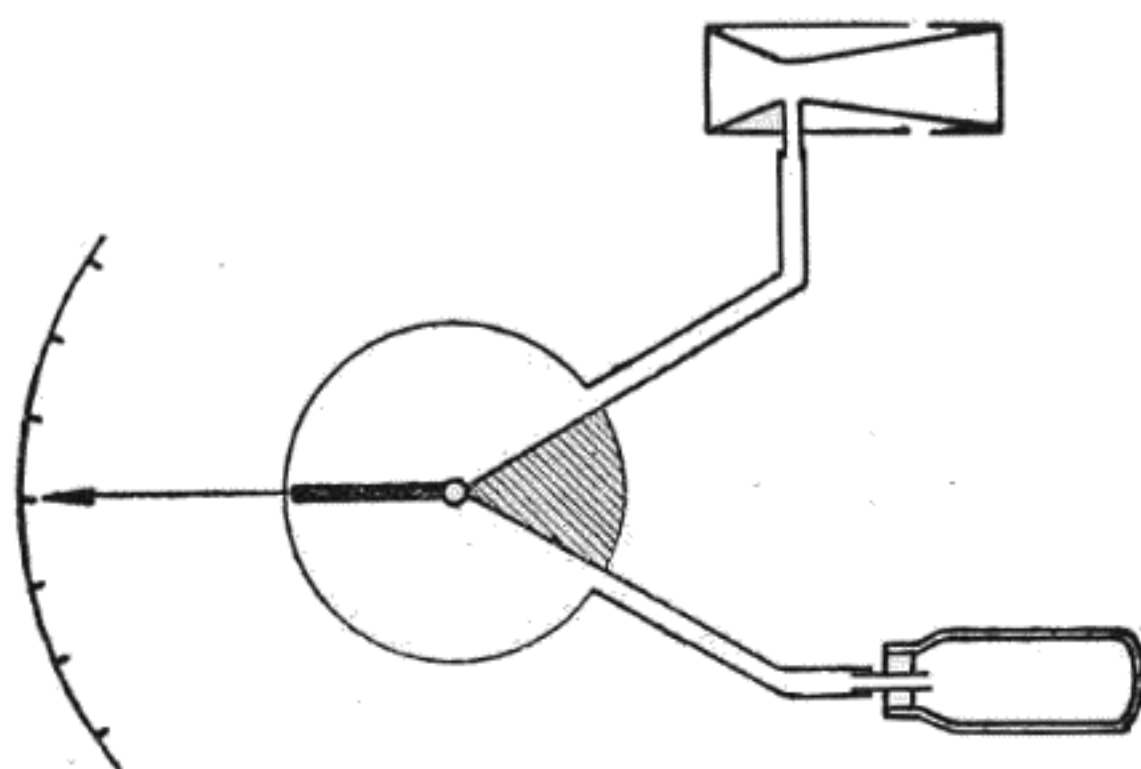


Obr. 7.11. Praktická ukázka speciální Venturiho trubice.

kormidla se ručička pohybuje ve směru pohybu hodinových ručiček (tj. ve směru „stoupání“), potom je konstanta trubice menší než $K = -1$ a je nutno korekční šroub trubice více vyšroubovat.

c) Letíme-li za stejných podmínek zvýšenou rychlostí a při přitažení výškového kormidla se ručička Tevaru pohybuje proti směru pohybu hodinových ručiček (tj. ve směru „klesání“), potom je konstanta trubice větší než $K = -1$ a je nutno korekční šroub trubice více zašroubovat.

Podívejme se nyní ještě trochu na teorii Tevaru. Nebudeme odvozovat základní rovnice a vztahy pro normální variometr, ani pro variometr celkové energie, protože ty každý najde v odborné literatuře, bude-li ho tento problém blíže zajímat. Uvedeme si pouze základní fyzikální vztahy pro detailnější vysvětlení funkce variometru celkové energie, který je v dnešní době již téměř



Obr. 7.12. Schéma zapojení Tevaru na speciální Venturiho trubici s konstantou $K = -1$.

výhradně nazýván „Tevar“ (Total Energy Variometer).

Řekli jsme si již, že Tevar získáme z normálního variometru tím, že na přívod statického tlaku (do pouzdra přístroje) zapojíme přívod od dýzy speciální Venturiho trubice s konstantou $K = -1$.

Podtlak, vyvozený touto speciální Venturiho trubicí je tedy:

$$p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2,$$

kde: p_{stat} je statický tlak (= barometrickému tlaku)

ρ je měrná hmota vzduchu

v je rychlost letu

Změna vyvozeného podtlaku vlivem změny rychlosti letu (zásahem výškového kormidla) bude tedy:

$$\pm \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta(v^2)$$

a bude stejná a právě opačného znaménka než změna statického tlaku $\pm \Delta p_{\text{stat}}$, vzniklá zvýšením nebo zmenšením klesáním (stoupáním) větroně vlivem změny rychlosti zásahem výškového kormidla.

Probereme si nyní některé charakteristické případy.

a) Horizontální let ustálenou rychlostí

V horizontálním letu ustálenou rychlostí (například ve vleku za motorovým letadlem) působí vlivem konstantního statického tlaku a konstantního sání v dýze Venturiho trubice na klapku variometru (máme na mysli klapkový variometr) z obou stran stejný tlak a ručička přístroje ukazuje nulu.

Od speciální Venturiho trubice působí tlak p_1

$$p_1 = p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2$$

a od termoláhve působí tlak p_2

$$p_2 = p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2$$

Protože jde u ustálený let (let konstantní rychlostí), jsou tlaky přes šterbinu komory přístroje vyrovnány, tedy

$$p_1 = p_2 = p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2$$

b) Klouzavý let v klidném vzduchu ustálenou rychlostí

Od Venturiho trubice působí kromě tlaku p_1

$$p_1 = p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2$$

ještě vzrůstající statický tlak (vlivem klesání větroně v klouzavém letu) Δp_{stat} .

Stálý přírůstek statického tlaku Δp_{stat} způsobuje rozdílný tlak na obou stranách klapky (tlak v horní části komory je stále větší než tlak ve spodní části komory).

Ze strany Venturiho trubice působí tedy celkem tlak p'_1

$$p'_1 = p_{\text{stat}} + \Delta p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2 = p_1 + \Delta p_{\text{stat}}$$

a ze strany termoláhve tlak p_2

$$p_2 = p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2$$

Tevar bude tedy ukazovat klesání stejně jako normální variometr, protože na klapku působí rozdíl tlaků

$$p'_1 - p_2 = \Delta p_{\text{stat}}$$

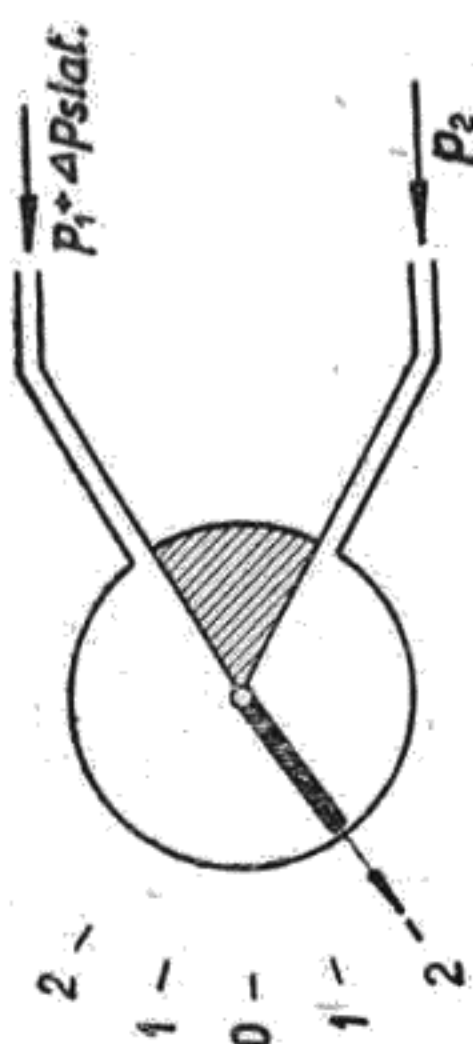
c) Klouzavý let s krátkodobým zvýšením rychlosti

Jde o krátkodobé zvýšení rychlosti vlivem pohybu výškovým kormidlem.

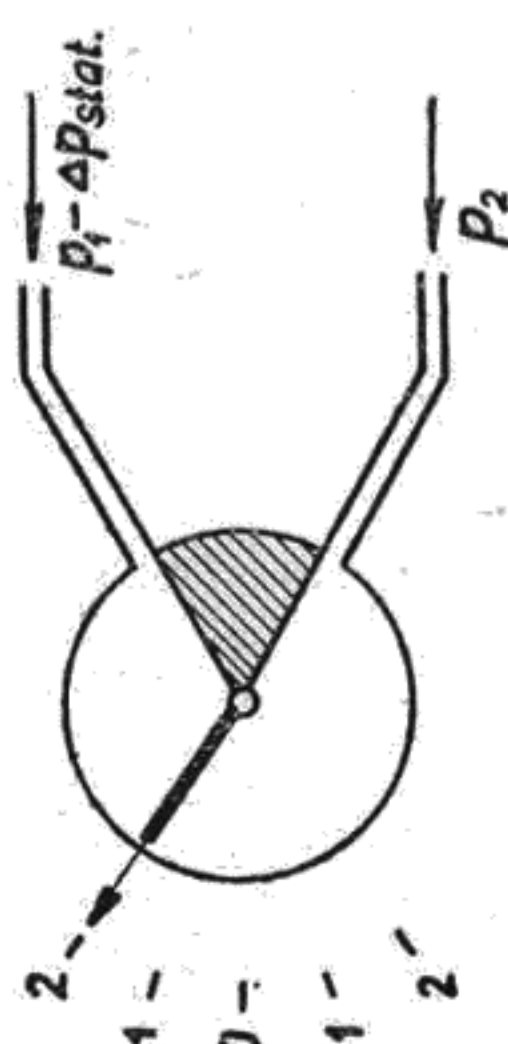
Když jsme letěli ustálenou rychlostí v klouzavém letu (naš případ b), působil na klapku variometru tlak od Venturiho trubice

$$p_{\text{stat}} - \frac{1}{2} \rho v^2 + \Delta p_{\text{stat}}.$$

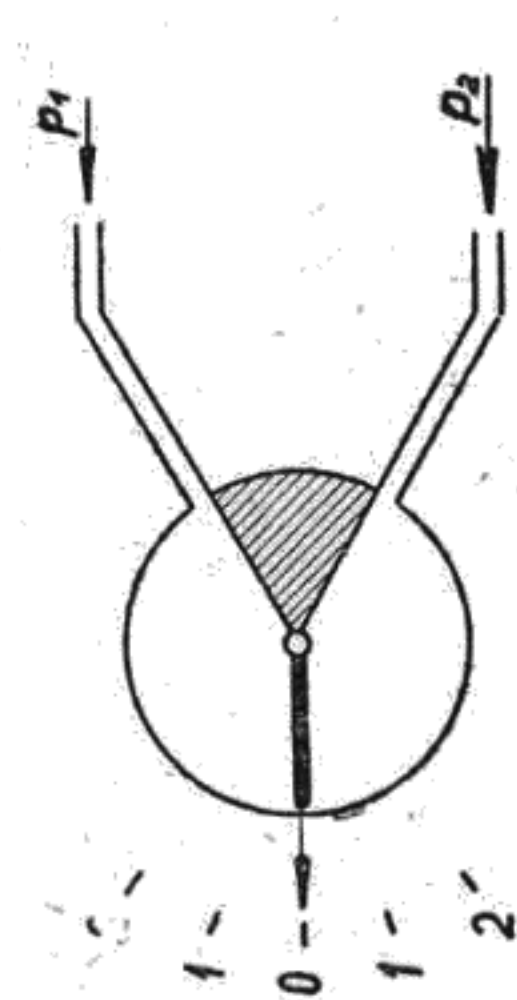
Při zvýšení rychlosti letadla potlačením výškového kormidla přibude ještě změna tlaku od změny rychlosti $-\frac{1}{2} \rho \Delta(v^2)$, kde Δv je změna rychlosti. K přírůstku statického tlaku při klouzání původní rychlostí Δp_{stat} přibude potom ještě přírůstek statického tlaku, vzniklý zvýšením klesáním větroně vlivem potlačení výškového kormidla, který můžeme podle zákona o přeměně statické energie v kinetickou vyjádřit jako $+\frac{1}{2} \rho \cdot \Delta(v^2)$.



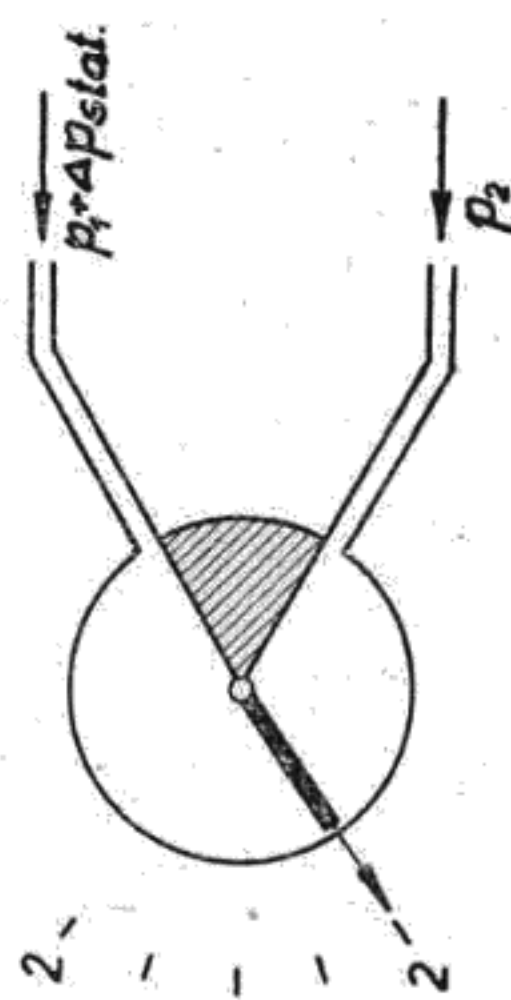
Obr. 7.15. Klouzavý let s krátkodobým zvýšením rychlosti letu.



Obr. 7.16. Stoupání ve stoupavém proudu při konstantní rychlosti letu.



Obr. 7.13. Horizontální let ustálenou rychlostí (například let ve vleku za motorovým letadlem).



Obr. 7.14. Klouzavý let v klidném vzduchu.

Ze strany Venturiho trubice tedy působí tlak p_1'' :

$$p_1'' = p_{stat} - \frac{1}{2} \rho v^2 + \Delta p_{stat} - \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta(v^2) + \frac{1}{2} \rho \cdot \Delta(v^2) = \\ = p_{stat} - \frac{1}{2} \rho v^2 + \Delta p_{stat} = p_1'$$

což je stejný tlak, jako pro náš případ b), tj. klouzavý let konstantní rychlostí.

Tevar nebude tedy reagovat na změny klesání větrone, způsobené pohyby výškovým kormidlem (nebude reagovat na krátkodobou změnu rychlosti letu), ale bude ukazovat stále jen klesání, odpovídající letu ustálenou rychlostí.

d) Stoupání ve stoupavém proudu při konstantní rychlosti letu

Letíme-li ve stoupavém proudu konstantní rychlosti letu, potom ze strany dýzy Venturiho trubice působí tlak p_1''' :

$$p_1''' = p_{stat} - \frac{1}{2} \rho v^2 - \Delta p_{stat}.$$

Ze strany termoláhve působí tlak p_2 :

$$p_2 = p_{stat} - \frac{1}{2} \rho v^2.$$

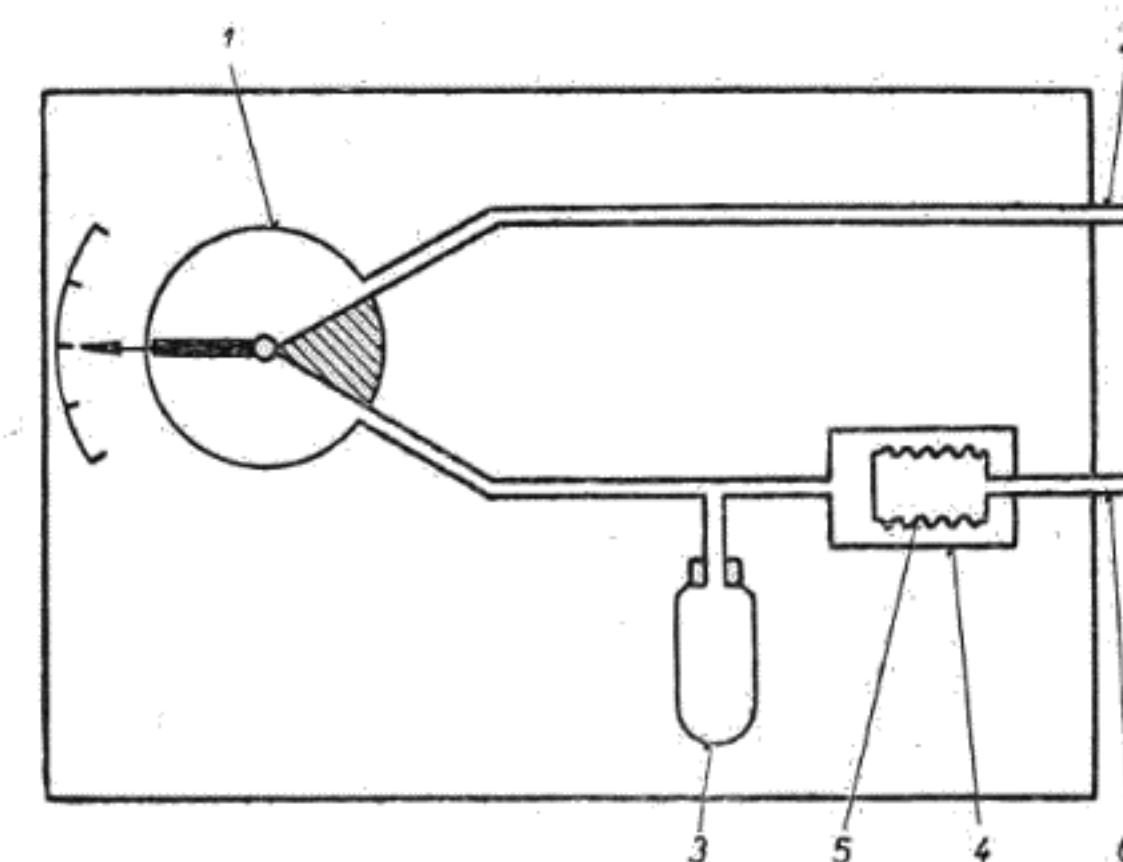
Na klapku variometru působí tedy tlakový rozdíl $p_1''' - p_2 = -\Delta p_{stat}$, který způsobí, že variometr ukazuje stoupání stejně jako normální variometr.

Pro popsany typ variometru celkové energie musíme mít na větroni speciální Venturiho trubici s konstantou $K = -1$. Protože u nových větrone se již téměř výhradně používá rychloměrů s Pitotovými trubicemi, musíme mít pro Tevar zvláštní Venturiho trubici (například v úpravě podle obrázku 7.9.—7.11.), což je zvláště z hlediska přídavného škodlivého odporu nepříznivé. Proto byl hledán způsob možnosti připojit Tevar na Pitotovu trubici (která má konstantu $K = +1$).

Ačkoliv tento úkol je značně obtížný, podařilo se ve Výzkumném a zkušebním leteckém ústavu v Letňanech vyvinout Tevar pro připojení na normální užívanou Pitotovu trubici.

Na obrázku 7.17 je schéma tohoto přístroje.

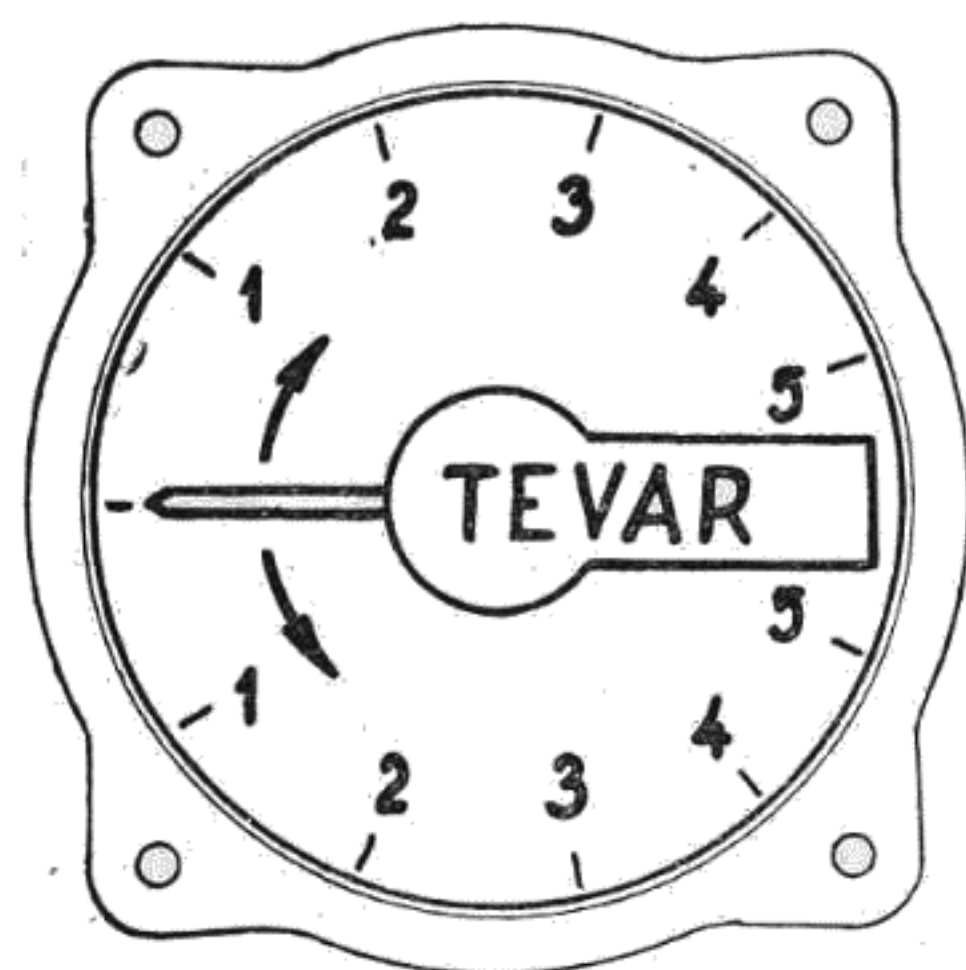
Normální klapkový variometr 1 je připojen na přívod statického tlaku 2 a na termoláhev, která je uvnitř pouzdra celého přístroje, a paralelně s termo-



Obr. 7.17. Schéma Tevaru pro zapojení na Pitotovu trubici.

1 - klapkový variometr, 2 - přívod statického tlaku, 3 - termoláhev, 4 - kompenzační nádoba, 5 - měch, 6 - přívod celkového tlaku.

lahví na kompenzační nádobu 4 s měchem 5, do kterého se přivádí celkový tlak od Pitotovy trubice 6. Měch 5 je navržen tak, aby při změně celkového tlaku o Δq změnil svůj objem o takový přírůstek objemu Δv , který by zvětšil (zmenšil) tlak v termoláhvi o takovou hodnotu Δp_{term} , která se právě rovná přírůstku celkového tlaku Δq a při letu v klidném vzduchu je rovna současně přírůstku statického tlaku Δp_{stat} . Tím je splněna základní podmínka Tevaru a tento přístroj bude ukazovat zcela shodně s Tevarem zapojeným na Venturiho trubici o $K = -1$, který jsme si dříve popsali.



Obr. 7.18. Číselník Tevaru československé výroby pro zapojení na Pitotovu trubici.

Skutečné provedení Tevaru pro zapojení na Pitotovu trubici liší se od našeho schématu v obrázku 7.17 tím, že termoláhev je tvořena přímo prostorem uvnitř pouzdra přístroje. Úprava schématu byla volena pro snadnější pochopení funkce přístroje. Na obrázku 7.18 je vidět číselník nového československého Tevaru pro zapojení na Pitotovu trubici.

7.4. KULIČKOVÝ VARIOMETR

Povíme si nyní ještě něco o zvláštním typu variometru, který bylo možno vidět například na Mistrovství světa v plachtění v Lešně v roce 1958. Je to „kuličkový variometr“ označený „Cosim“.

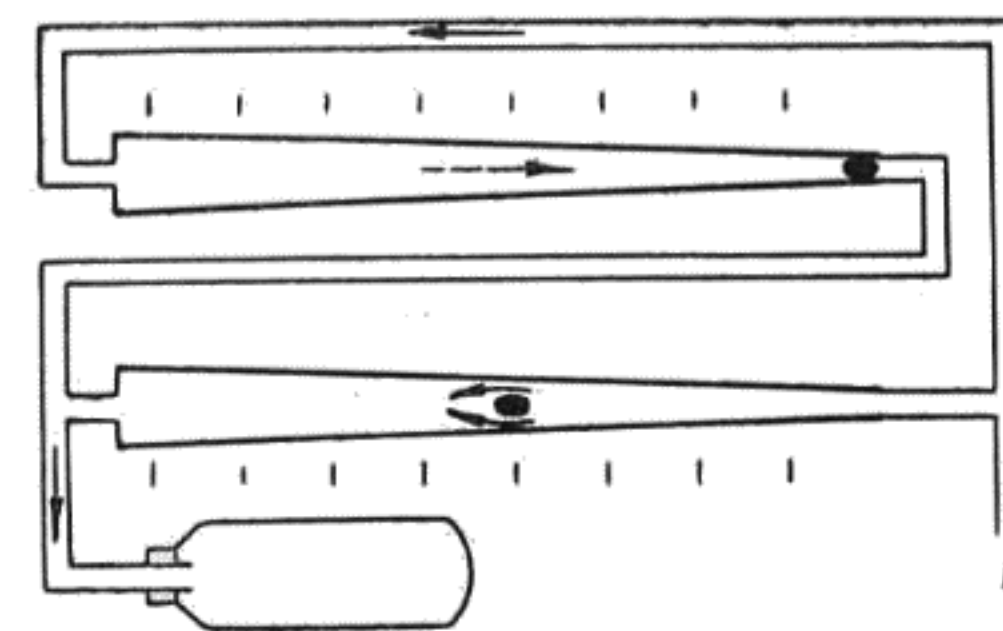
Jeho funkci si vysvětlíme na obrázcích.

Základem přístroje jsou dvě skleněné trubičky s kuželovitým, nahoru rozšířeným vývrtem. V trubičkách, postavených svisle, pohybují se dvě kuličky (soudečky), a to jedna červená a druhá zelená. Kuličky jsou ze zvláště lehkého materiálu, např. z bezové duše. Z obrázku 7.19 je patrné propojení trubiček a jejich připojení na termoláhev a přívod statického tlaku.

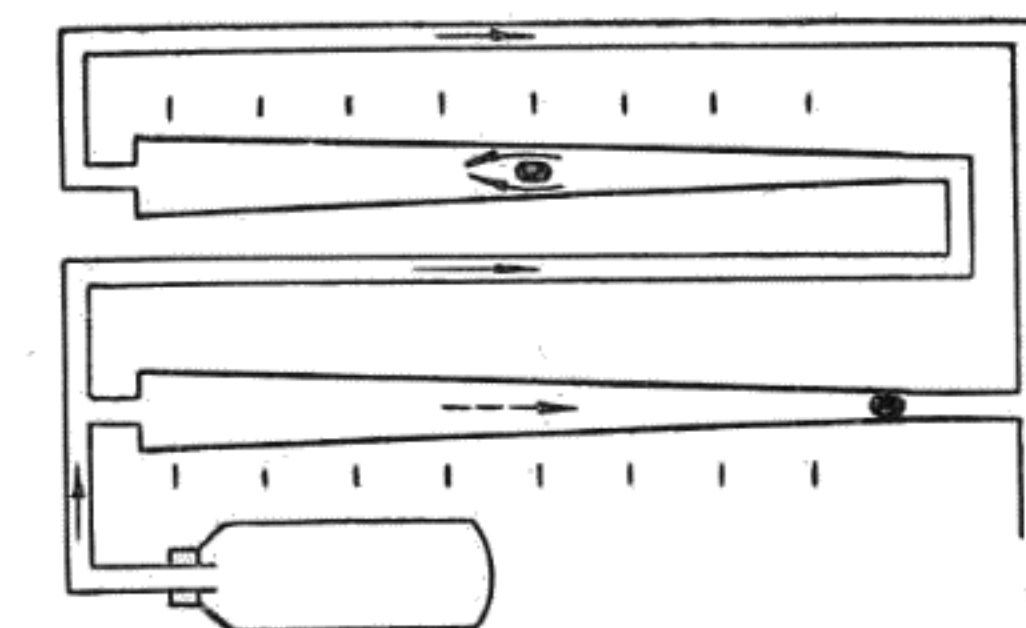
a) Začneme-li stoupat, začne klesat statický tlak. Vlivem takto vzniklého podtlaku přisaje se červená kulička (levá) do spodní polohy v trubičce, takže levou trubičku zcela uzavře. Vlivem vzniklého rozdílu tlaků začne proudit vzduch z prostoru vyššího tlaku vzduchu do prostoru nižšího tlaku vzduchu, tj. z prostoru termoláhve směrem k vývodu statického tlaku. Proud vzduchu v pravé trubičce unáší sebou nahoru zelenou kuličku a zvedne ji ze spodní polohy tím výše, čím je větší rychlost proudu vzduchu v trubičce, tj. čím větší je rozdíl tlaků v jednotlivých prostorech, tedy čím rychleji stoupáme. (Rychleji proudící vzduch potřebuje větší štěrbinu mezi stěnou kuželové trubičky a kuličkou. Větší štěrбина je tehdy, když je kulička v trubičce výš.)

Přestaneme-li stoupat, zmizí rozdíl tlaků ve statickém potrubí a termoláhvi a zelená kulička klesne do spodní polohy.

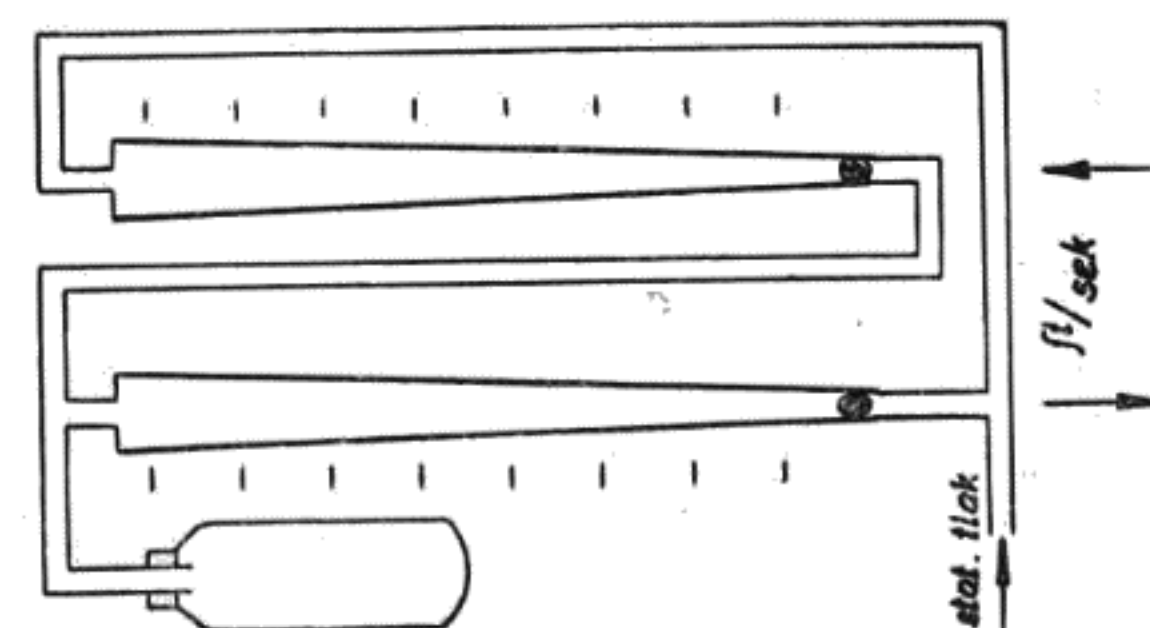
b) Začneme-li klesat, začne stoupat statický tlak vzduchu. Nastane tedy rozdíl tlaků mezi prostorem termoláhve a přívodem statického tlaku. Tento rozdíl tlaků začne se vyrovnávat tím, že začne proudit vzduch z prostoru přívodu statického



Obr. 7.21. Poloha kuliček při klesání větrone.

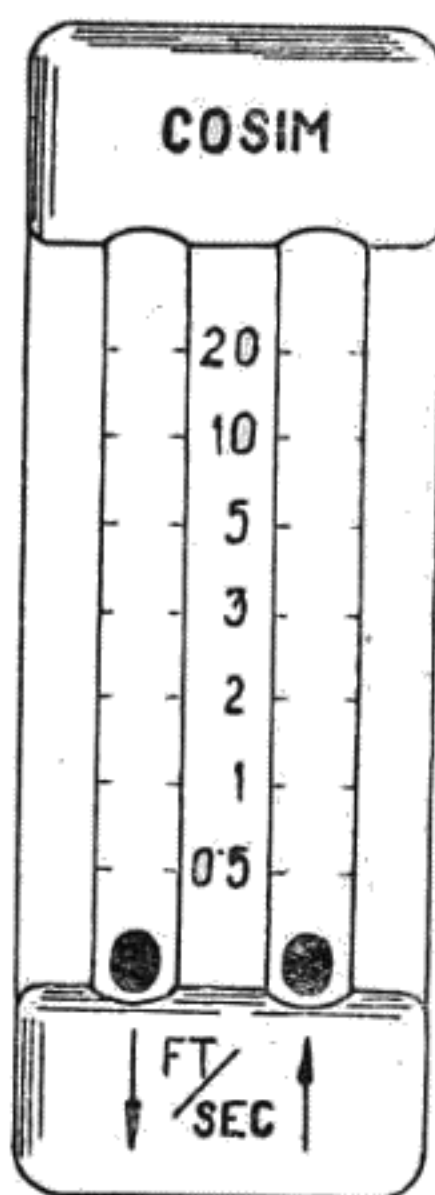


Obr. 7.20. Poloha kuliček při stoupaní větrone.



Obr. 7.19. Schéma kuličkového variometru.

tlaku do prostoru termoláhve. Zelená kulička v pravé trubičce bude proudem vzduchu zatlačena do spodní polohy a vzduch musí proudit jen levou trubičkou kolem červené kuličky. Zvedne ji do takové výšky, až vzniklá štěrbinu mezi stěnou trubičky a kuličkou bude tak veliká, jak odpovídá množství protékajícího vzduchu. Červená kulička bude tím výše, čím rychleji bude vzduch proudit, tj. čím rychleji budeme klesat.



Obr. 7.22. Čelní deska kuličkového variometru.

Čelní deska přístroje je upravena tak, že vidíme obě skleněné trubičky s kuličkami a stupnici. Odečítáme přímo polohu buď zelené (pravé) kuličky při stoupání, nebo polohu červené (levé) kuličky při klesání větroně. Stupnice na čelní desce je cejchována přímo v jednotkách rychlosti stoupání. Protože jde o anglický přístroj, je stupnice cejchována ve ft/sec (stopách za vteřinu), a ne v m/s, jak jsme zvyklí. ($1 \text{ ft/sec} = 0,3048 \text{ m/s}$.)

Z popisu kuličkového variometru vidíme, že se jedná o velmi jemný (citlivý) typ variometru, jak soudíme podle stupnice, kde nejmenší dílek $0,5 \text{ ft/sec}$ odpovídá stoupání $0,15 \text{ m/s}$, tj. 15 cm/s !

Pokud jde o rozsah stupnice, lze ho upravovat volbou vhodné kuželovitosti vývrtu trubiček.

Z praktického provozu je známo, že tento přístroj je velmi citlivý na sebemenší stoupavé proudy a jeho reakce je téměř okamžitá. (V prospektu přístroje se uvádí, že při náhlé změně stoupání z 20 ft/sec na 5 ft/sec ukáže přístroj tuto změnu za dobu kratší než 1 vteřina.)

7.5. ELEKTRICKÝ VARIOMETR

V poslední době stále více pronikají ze zahraničí zprávy o novém typu variometru, tak zvaném „elektrickém variometru“. V podstatě jde o to, že do vyrovnávací trubičky (kapiláry nebo štěrbinu) je zasazen termistor, který je více nebo méně ochlazován „proudem“ vzduchu, čímž se mění jeho elektrický odpor. Změny odporu jsou potom přes zesilovač indikovány elektrickým přístrojem, jehož stupnice je cejchována přímo v jednotkách m/s (nebo ft/sec).

Poznámka: Termistor je moderní elektrotechnický prvek (patřící do oblasti tzv. polovodičů), který má tu vlastnost, že i při velmi malé změně teploty mění se značně jeho elektrický odpor (při stoupající teplotě jeho odpor klesá, na rozdíl od ohmických odporů, jejichž odpor se stoupající teplotou stoupá).

Výhodou tohoto typu variometru je jeho velká citlivost a velmi malé zpoždění údaje.

Nevýhodou však je (alespoň dosud) značná váha elektronické aparatury.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Variometr je přístroj, který ukazuje velikost stoupání nebo klesání letadla v m/s. Základními užívanými typy jsou variometr s tlakoměrnými krabicemi a variometr klapkový. Základním elementem variometru s tlakoměrnými krabicemi je jedna nebo více tlakoměrných krabic, umístěných v pouzdru přístroje. Do prostoru pouzdra přístroje je veden přívod statického tlaku, do tlakoměrné krabice je připojen přívod od termoláhve. V přívodu od termoláhve je uvnitř pouzdra přístroje

zařazena kapilára, která slouží k přefukování vzduchu z prostoru termoláhve do prostoru pouzdra přístroje při stoupání a naopak při klesání.

Základní částí klapkového variometru je válcová komora, v níž se pohybuje s malou vůlí (štěrbinou) klapka. Klapka odděluje dva prostory komory, z nichž jeden je připojen na přívod statického tlaku a druhý na přívod od termoláhve. Štěrbinu slouží k přefukování vzduchu z jedné části válcové komory do druhé, tj. její funkce je shodná s kapilárou u variometru s tlakoměrnými krabicemi. Klapkový variometr má menší zpoždění údaje než variometr s tlakoměrnými krabicemi.

Variometr celkové energie (Tevar) je upraveným typem variometru. Při letu ustálenou rychlostí ukazuje shodně s normálním variometrem. Jeho důležitou vlastností však je, že nereaguje na změny výšky, způsobené přitažením nebo potlačením výškového kormidla. Tento variometr má vývod „statického“ tlaku připojen na speciální Venturiho trubici s konstantou $K = -1$.

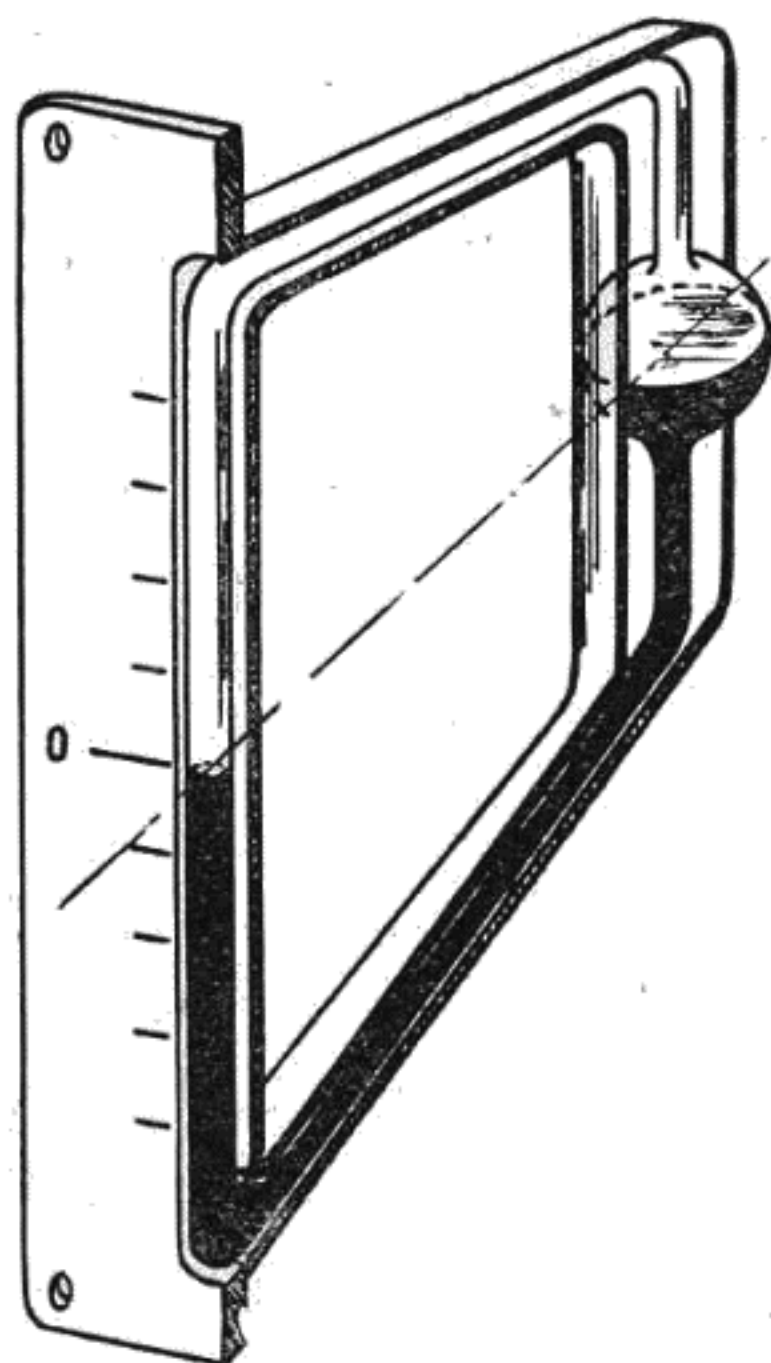
V zahraničí byl vyvinut kuličkový variometr, který je velmi citlivý.

Kontrolní otázky

1. K čemu nám slouží variometr?
2. Popište činnost variometru s tlakoměrnými krabicemi!
3. Popište činnost klapkového variometru!
4. Proč je jeden vývod variometru připojen na termoláhev?
5. Jakou funkci má kapilára u variometru s tlakoměrnými krabicemi?
6. Jakou funkci má štěrbinu mezi klapkou a stěnou válcové komory u variometru klapkového?
7. Který typ variometru má větší zpoždění údaje, klapkový nebo variometr s tlakoměrnými krabicemi?
8. Proč nemají některé variometry vývod pro termoláhev?
9. K čemu nám slouží variometr celkové energie (Tevar)?
10. Jaká je výhoda Tevaru proti normálnímu variometru?
11. Jakou konstantu musí mít Venturiho trubice, na níž je připojen Tevar?
12. Který vývod variometru připojíme na přívod od speciální Venturiho trubice, abychom dostali Tevar z normálního variometru?
13. Čím se dá doladit velikost konstanty speciální Venturiho trubice, kterou jsme si vyrobili?
14. Lze Tevar připojit na Pitotovu trubici?
15. Popište krátce funkci kuličkového variometru!

8. RELATIVNÍ SKLONOMĚRY

Za letu potřebujeme velmi často znát sklon letadla. Chceme znát sklon jeho podélné osy vzhledem k horizontu nebo sklon jeho příčné osy vzhledem k horizontu (k vodorovné, tj. horizontální rovině).



Obr. 8.1. Řez podélným relativním sklonoměrem.

Musíme si však uvědomit, že se letadlo za letu nemusí pohybovat rovnoměrně, jinak řečeno působí na ně zrychlení v různých směrech. Tak například v zatáčkách působí na letadlo nejen zemské tíhové zrychlení, ale také zrychlení odstředivé, vzniklé pohybem po zakřivené dráze. Při vybírání letadla z letu střemhlav působí na letadlo kromě zemského tíhového zrychlení ještě zrychlení odstředivé, působící v tomto případě přibližně ve směru kolmé osy letadla. Ve vývrtce působí na letadlo kromě zemského tíhového zrychlení ještě zrychlení v různých směrech vlivem obecného pohybu letadla.

Máme-li v letadle přístroj, který reaguje na změnu směru výslednice zrychlení, působící na letadlo, říkáme mu relativní sklonoměr.

Relativní sklon je tedy úhel, sklon mezi určitou osou letadla a výslednicí zrychlení, působících na letadlo v rovině, která prochází danou osou.

Řekli jsme si již, že nás zajímá sklon osy podélné a sklon osy příčné. Relativní sklonoměry dělíme tedy na podélné a příčné.

8.1. PODÉLNÝ RELATIVNÍ SKLONOMĚR

Jeho schéma je zřejmé z obrázku 8.1.

Je to v podstatě skleněná trubice zahnutá do tvaru, zřejmého z obrázku. Trubice je do poloviny naplněna červeně zbarvenou ka-

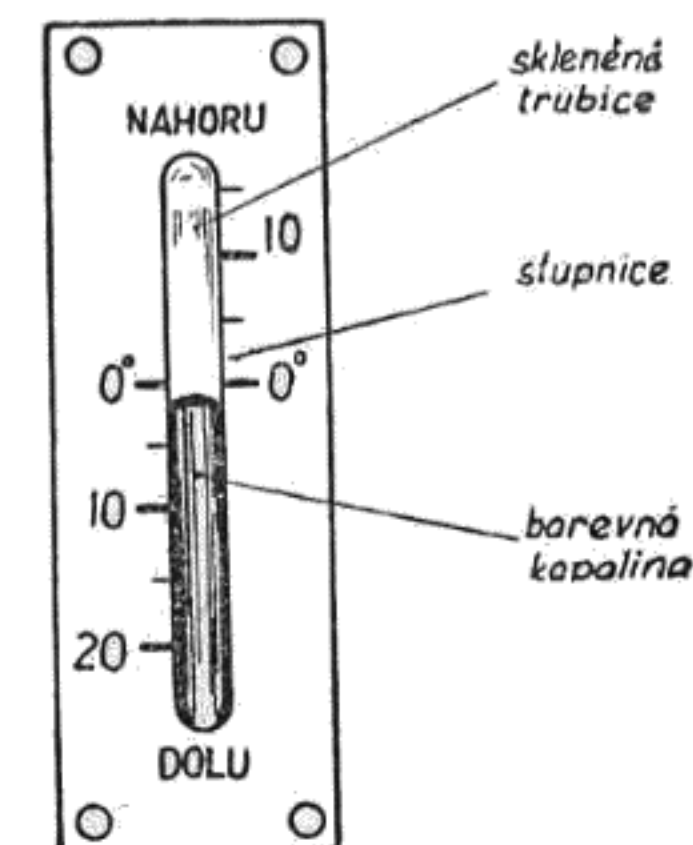
palinou. V přední části přístroje proti stupnici na čelní desce odečítáme výšku hladiny kapaliny. V zadní části je trubice rozšířena v nádobku, která slouží jako zásobník plnicí kapaliny. Celá trubice je kryta pouzdem.

Na obrázku 8.2 je pohled na čelní desku přístroje.

Vysvětlíme si údaje přístrojů za různých režimů letu.

a) Přímý klouzavý let ustálenou rychlostí

Letíme-li ustálenou rychlostí v přímém klouzavém letu, působí na letadlo pouze zemské tíhové zrychlení. Hladina kapaliny v trubici podélného relativního sklonoměru postaví se kolmo ke směru tohoto zrychlení a přístroj bude ukazovat skutečný sklon podélné osy letadla, jak vidíme na obrázku 8.3.

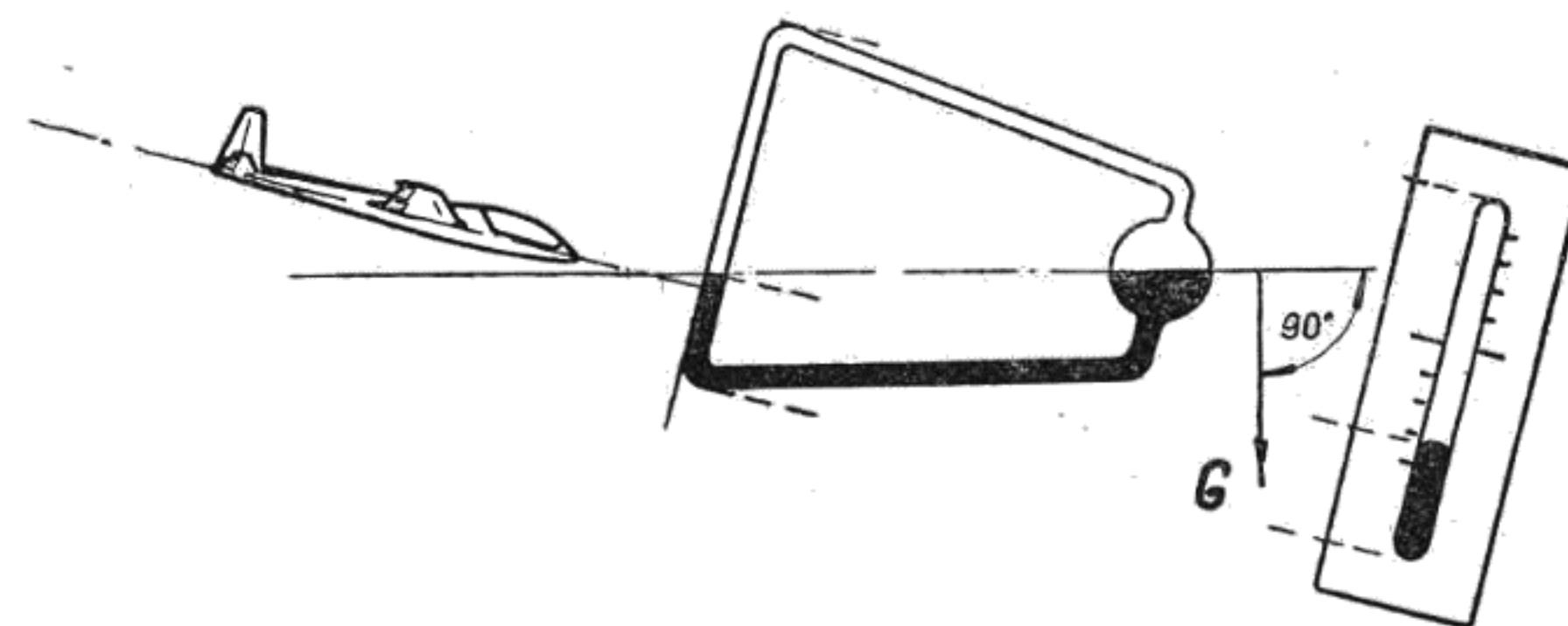


Obr. 8.2. Čelní deska podélného relativního sklonoměru.

b) Vybrání ze strmého klouzavého letu

Vybíráme-li například právě strmý klouzavý let, bude na letadlo působit kromě zemského tíhového zrychlení ještě zrychlení odstředivé vlivem pohybu letadla po zakřivené dráze. Tento případ znázorňuje obrázek 8.4.

Přístroj ukazuje podélný sklon nesprávně, protože hladina kapaliny v trubici se postaví kolmo ke směru výslednice, působící zrychlení, zatímco by při daném skutečném sklonu podélné osy letadla

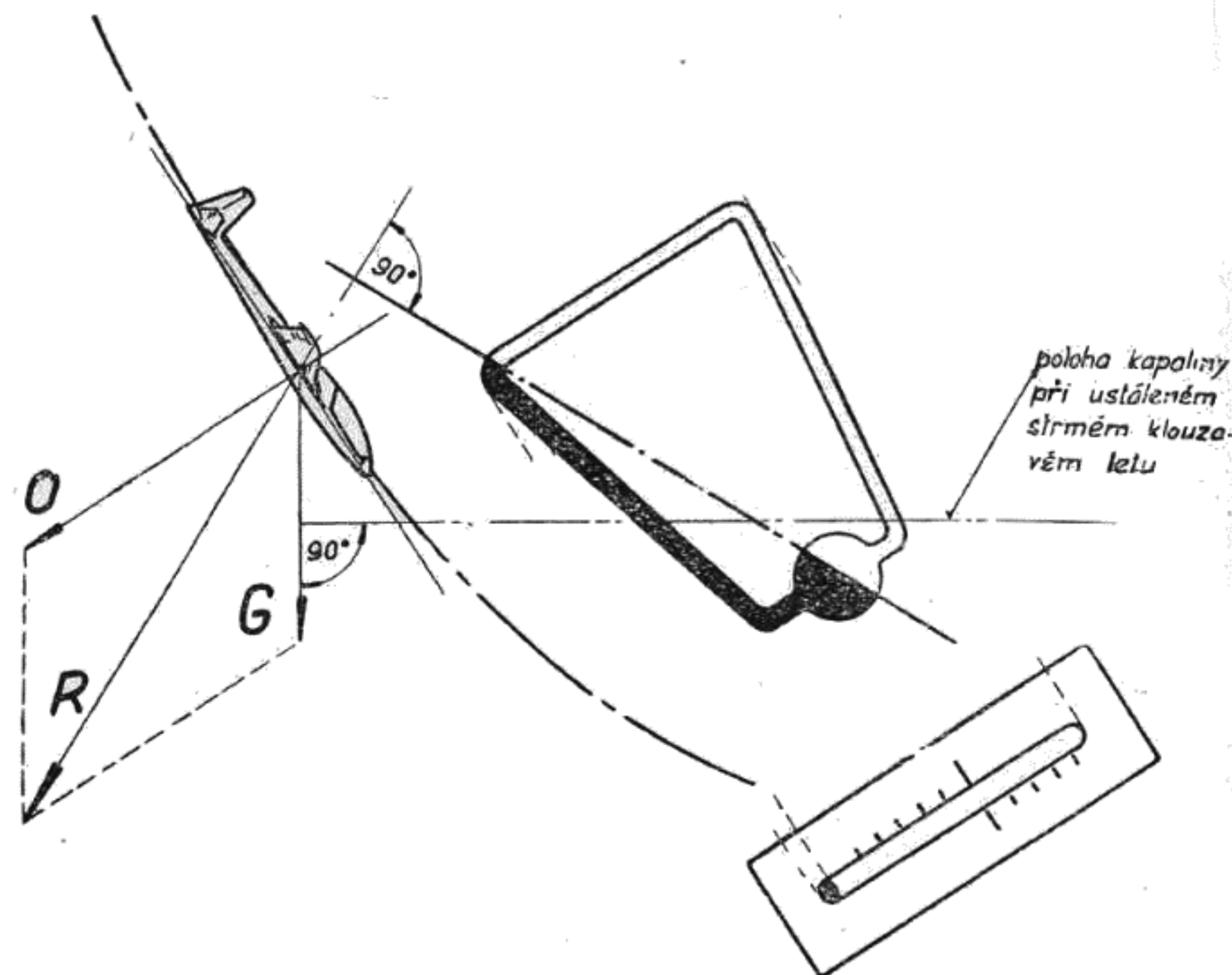


Obr. 8.3. Údaj podélného relativního sklonoměru při klouzavém letu ustálenou rychlostí.

měla kapalina stát kolmo pouze ke směru zemského tíhového zrychlení, tj. v rovině, která je na obrázku naznačena - - - - -.

Na uvedeném případě vidíme, že udávaný podélný sklon neodpovídá skutečnosti.

Proto se nikdy neřídíme údajem podélného relativního sklonoměru za nerovnoměrného letu.



Obr. 8.4. Údaj podélného relativního sklonoměru při vybírání ze strmého klouzavého letu.

8.2. PŘÍČNÝ RELATIVNÍ SKLONOMĚR

Jeho schéma je zřejmé z obrázku 8.5.

Ve skleněné trubici, zahnuté svými konci vzhůru, pohybuje se s malou vůlí kovová kulička. Skleněná trubice, vyplněná tlumicí kapalinou, je vytažena v nádobku, která slouží jako zásobník tlumicí kapaliny. Trubice je nad nádobkou zatavena.

Dříve se někdy používalo libelového příčného sklonoměru, kde se v trubici, svými konci zahnuté dolů, pohybovala vzduchová bublina,

tedy obdobně jako u zednické vodováhy. Toto uspořádání se neosvědčilo a dnes se ho již nepoužívá.

Vraťme se nyní k popisu příčného relativního sklonoměru s kuličkou.

Přístroj slouží k zjištění polohy příčné osy letadla, ovšem jen za určitých okolností. Kulička sklonoměru totiž podléhá vlivu všech zrychlení, působících na letadlo v rovině příčné osy letadla a ukazuje směr jejich výslednice.

Příčný sklon bude tedy přístroj správně ukazovat jen v přímém rovnoměrném letu (obdobně jako podélný relativní sklonoměr).

Vysvětleme si funkci přístroje na příkladech.

a) *Přímý let ustálenou rychlostí s vodorovnou příčnou osou letadla*

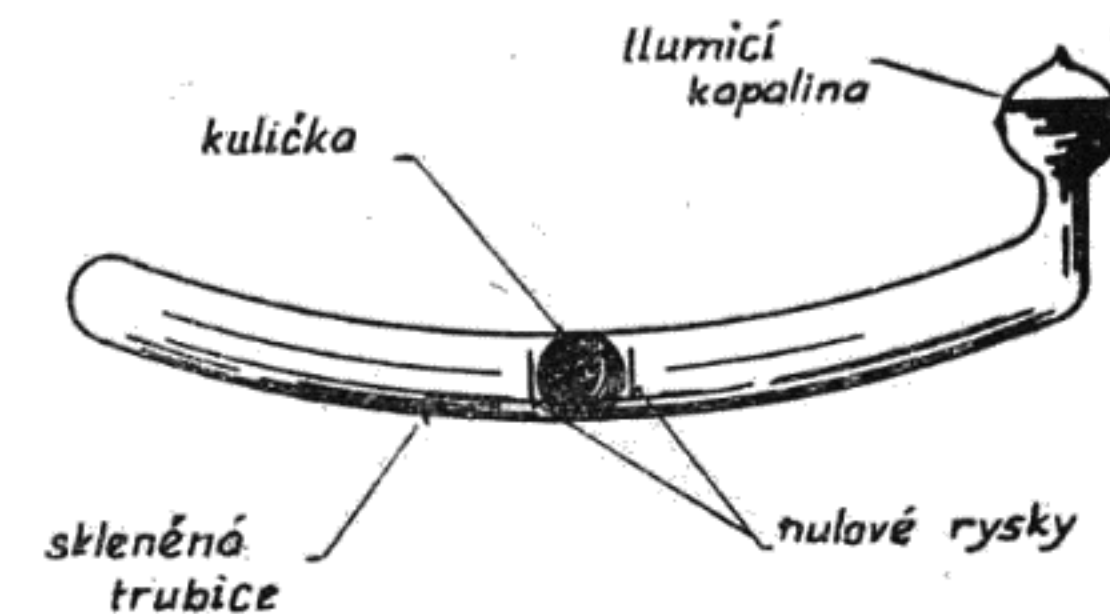
Letíme-li ustálenou rychlostí v přímém klouzavém letu a příčná osa letadla je vodorovná, bude kulička přístroje stát přesně mezi středními ryskami, jak ukazuje obr. 8.6.

b) *Přímý let ustálenou rychlostí se skloněnou příčnou osou letadla*

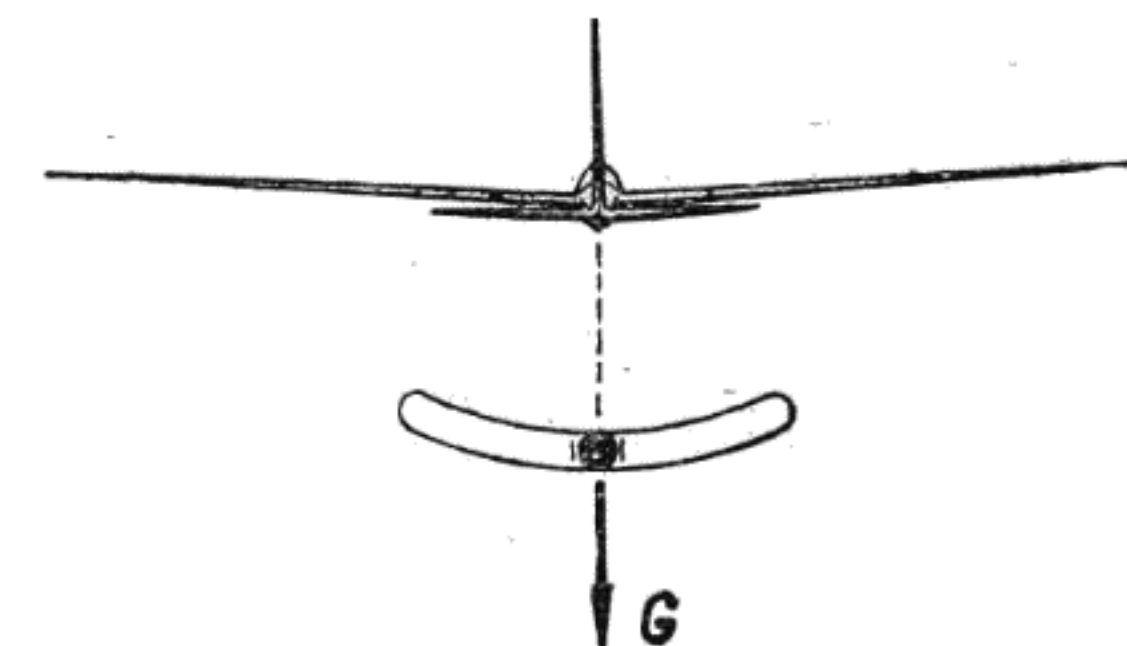
Letíme-li ustálenou rychlostí v přímém klouzavém letu, ale příčná osa letadla je skloněna (letadlo „visí“), potom bude kulička přístroje vychýlena ze střední polohy například vpravo (letadlo visí vpravo), jak je vidět na obrázku 8.7.

c) *Let v zatáčce*

Letíme-li v zatáčce, potom na letadlo nepůsobí již jen zemské tíhové zrychlení, ale také zrychlení odstředivé vlivem pohybu letadla



Obr. 8.5. Schéma příčného relativního sklonoměru.



Obr. 8.6. Poloha kuličky v přímém letu s vodorovnou příčnou osou letadla.

po zakřivené dráze. Kulička příčného relativního sklonoměru bude ukazovat směr výslednice těchto dvou zrychlení.

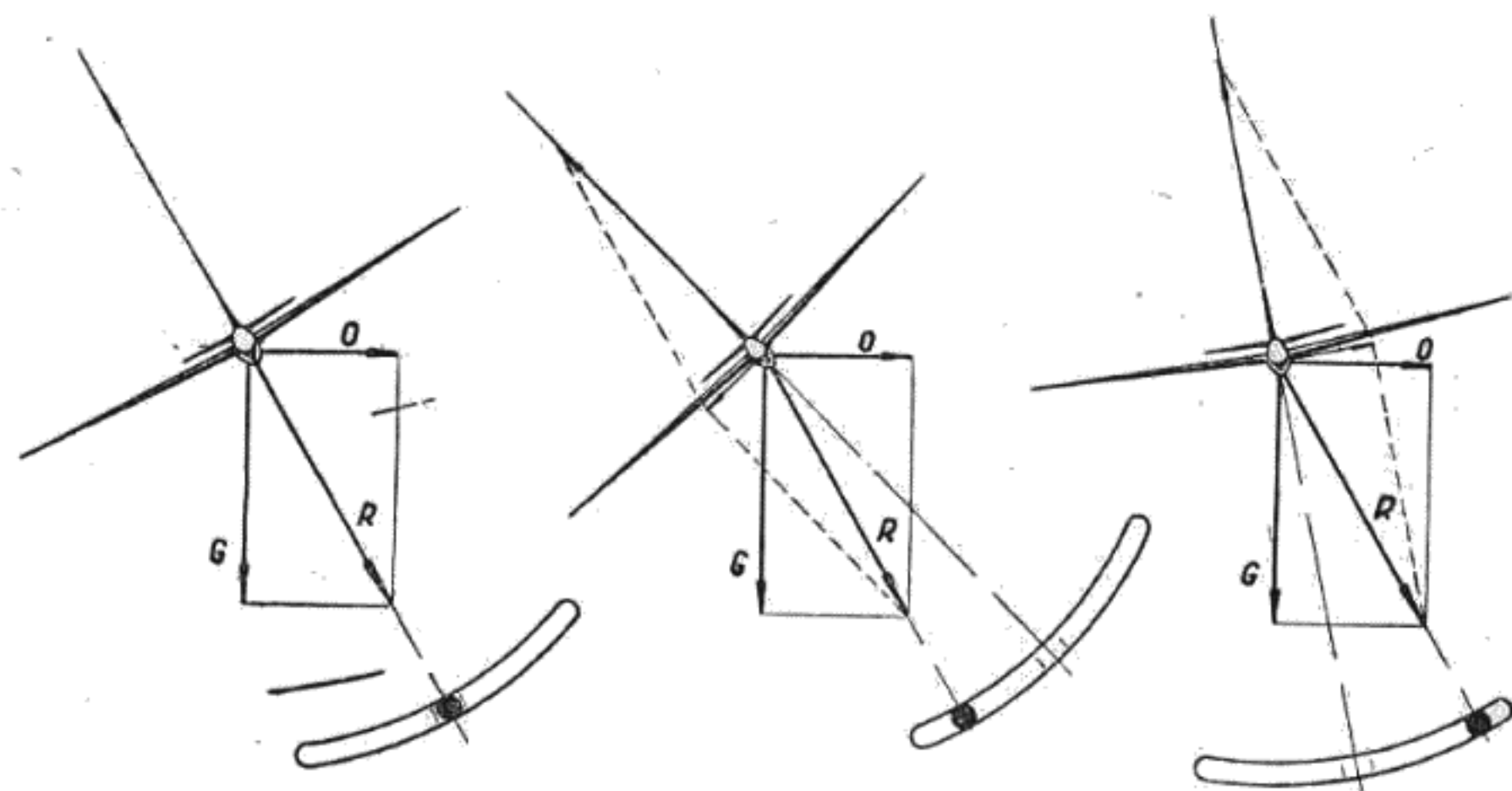
Z mechaniky letu víme, že při správně provedené zatáčce musí výslednice zrychlení v rovině příčné osy ležet ve směru kolmé osy letadla,

jinak řečeno výslednice váhy letadla a odstředivé síly musí ležet ve směru kolmé osy letadla.

Poloha kuličky příčného relativního sklonoměru ukazuje tedy správnost zatáčky.

Bude-li kulička přístroje uprostřed, je poměr váhy a odstředivé síly správný, tj. bylo správně použito křídlek a směrového kormidla, zatáčka je správná. Obrázek 8.8 vlevo.

Bude-li odstředivá síla menší než má být, tj. bylo-li použito méně směrového kormidla než odpovídá náklonu letadla, kulička příčného relativního sklonoměru se posune dovnitř zatáčky, zatáčka je skluzová. Obrázek 8.8 uprostřed.



Obr. 8.8. Poloha kuličky při letu v zatáčce.

Vlevo: ve správné zatáčce vlevo. Uprostřed: ve skluzové zatáčce vlevo. Vpravo: ve výkluzové zatáčce vlevo.

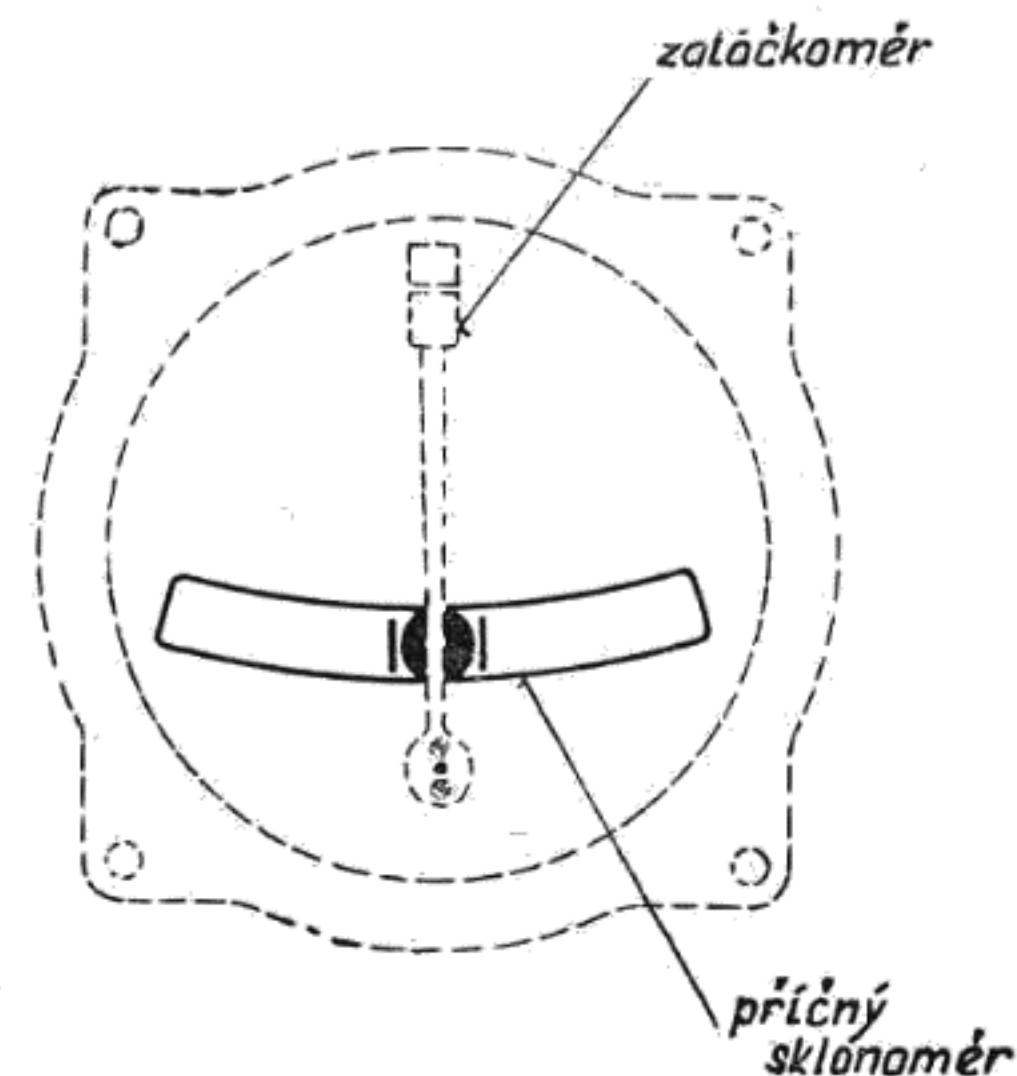
Použilo-li se směrového kormidla více, než odpovídá náklonu letadla, bude odstředivá síla letadla větší, než má při daném náklonu být a kulička se posune ve směru ven ze zatáčky, zatáčka je výkluzová. Obrázek 8.8 vpravo.

Uvedené tři případy polohy kuličky příčného relativního sklonoměru uvádí obrázek 8.8.

Ukázali jsme si, že příčný relativní sklonoměr ukazuje skutečný příčný sklon letadla pouze v ustáleném přímém letu. Proto jeho užití pro určení příčného sklonu letadla je malé.

Tohoto přístroje se užívá hlavně pro zjištění směru výslednice sil, působících na letadlo, převážně tedy pro kontrolu správnosti zatáčky, tj. zda zatáčka není skluzová nebo výkluzová. Proto se také dnes příčného relativního sklonoměru již neužívá jako samostatného přístroje, ale vždy ve spojení se zatáčkoměrem.

Umístění příčného relativního sklonoměru na čelní desce zatáčkoměru je zřejmé z obrázku 8.9.



Obr. 8.9. Umístění příčného relativního sklonoměru na čelní desce zatáčkoměru.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Pokud se letadlo pohybuje rovnoměrně, můžeme sklon jeho os vzhledem k horizontu zjišťovat relativními sklonoměry.

Relativní sklonoměr podélný je v podstatě skleněná trubice zahnutá do tvaru rámu, která je asi do poloviny vyplněna barevnou kapalinou. Hladina kapaliny stojí vždy kolmo ke směru výslednice zrychlení, působící na letadlo v rovině podélné osy letadla. Proto můžeme za přímého rovnoměrného letu odečítat na stupnici přímo sklon podélné osy letadla.

Za nerovnoměrného letu (například při vybírání letadla z letu střemhlav), nemůžeme na údaj podélného relativního sklonoměru spoléhat, protože poloha kapaliny (její hladiny) v trubici stojí kolmo ke směru výslednice všech zrychlení, které právě na letadlo působí a ne jen kolmo ke směru zemského tíhového zrychlení.

Příčný relativní sklonoměr je v podstatě dolů prohnutá skleněná trubice, vyplněná tlumicí kapalinou, ve které se pohybuje kovová kulička. Kulička se postaví vždy do směru výslednice zrychlení, působící na letadlo v rovině příčné osy letadla. Za rovnoměrného přímého letu ukazuje kulička náklon („visení“) letadla. Při zatáčce ukazuje správnost zatáčky, tj. zda zatáčka není skluzová nebo výkluzová.

9. ZATÁČKOMĚRY

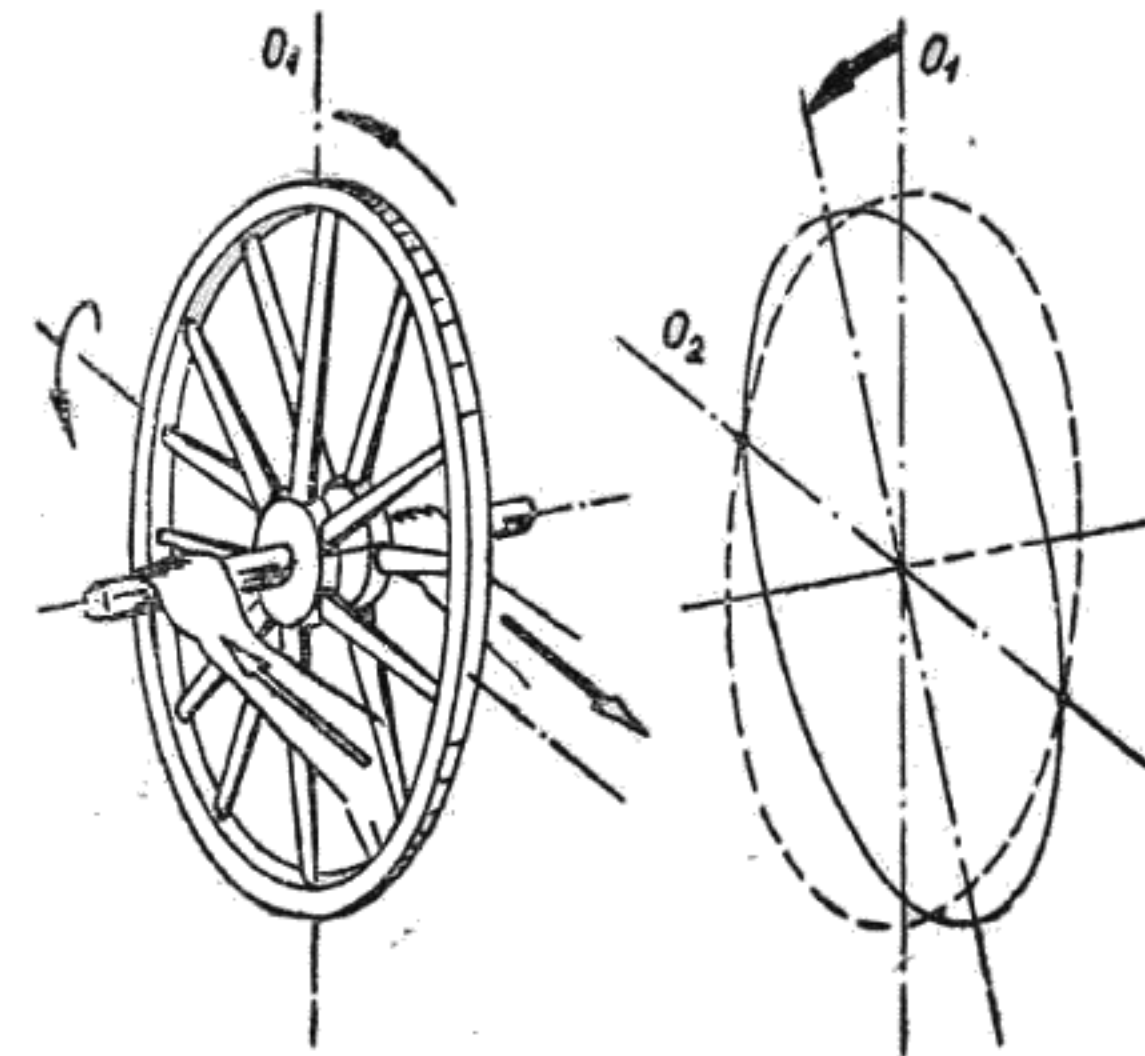
Protože se příčného relativního sklonoměru (kuličky) užívá převážně ke kontrole správnosti zatáčky, je trubice sklonoměru zabudována do čelní desky zatáčkoměru a tvoří tak se zatáčkoměrem kombinovaný přístroj.

Kontrolní otázky

1. Jaké druhy relativních sklonoměrů znáte?
2. Za jakých podmínek ukazují relativní sklonoměry skutečný sklon příslušné osy letadla?
3. Popište podélný relativní sklonoměr!
4. Popište vznik chybného údaje podélného relativního sklonoměru při vybírání letadla z letu střemhlav!
5. Popište příčný relativní sklonoměr!
6. Popište funkci příčného relativního sklonoměru v přímém rovnoměrném letu!
7. Popište funkci příčného relativního sklonoměru při správné zatáčce letadla!
8. Vysvětlete důvod vychýlení kuličky ze střední polohy při skluzové zatáčce!
9. Vysvětlete důvod vychýlení kuličky ze střední polohy při výkluzové zatáčce!
10. Proč je příčný relativní sklonoměr většinou zabudován do čelní desky zatáčkoměru?

Jedním z nejužitečnějších přístrojů pro létání za špatné viditelnosti je pro plachtaře zatáčkoměr.

Zatáčkoměr je setrvačnickový přístroj, který je založen na využití vlastností setrvačníku, uchyceného v jednoduchém rámečku.



Obr. 9.1. Vznik precesního pohybu.

Než si vysvětlíme funkci samotného přístroje, musíme se seznámit s vlastnostmi setrvačníku se dvěma stupni volnosti, uchyceného v jednoduchém rámečku.

Všichni jsme jistě již někdy rozdělávali jízdní kolo nebo motocykl. Podívovali jsme se „divným“ pohybům samotného kola, které jsme drželi za hřídel v rukou, a po roztočení jsme se snažili natáčet hřídelem (celým kolem) ve vodorovném směru, jak naznačuje obrázek 9.1.

Jakmile jsme začali pohybovat kolem ve směru šipek v obrázku 9.1, tj. otáčeli jsme kolem okolo osy O_1 , začalo se kolo naklánět do některé strany, a to značnou „sílu“.

Vysvětleme si nyní toto chování kola trochu blíže.

Držíme kolo v obou rukou za hřidel, kolo se otáčí ve směru šipky. Začneme zatáčet kolem osy o_1 , to znamená, že levou ruku posunujeme vpřed a pravou vzad. Ucítime, jak se kolo snaží naklonit kolem osy

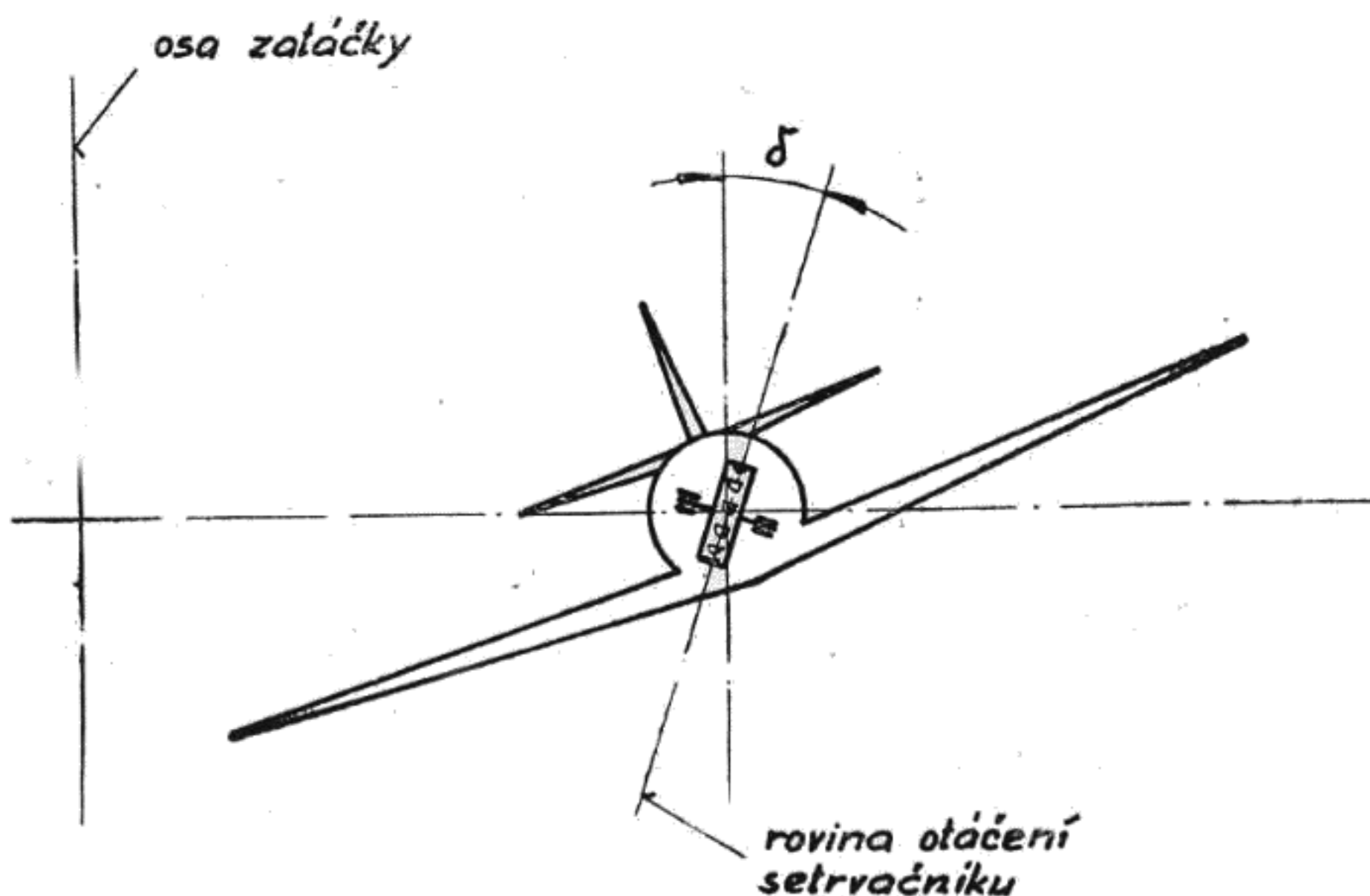
o_2 , ve směru černé šipky v obrázku 9.1 v pravém obrázku.

Tomuto pohybu naklání kola, které nám při tomto výkladu nahrazuje setrvačník, říkáme precesní pohyb nebo krátce precese.

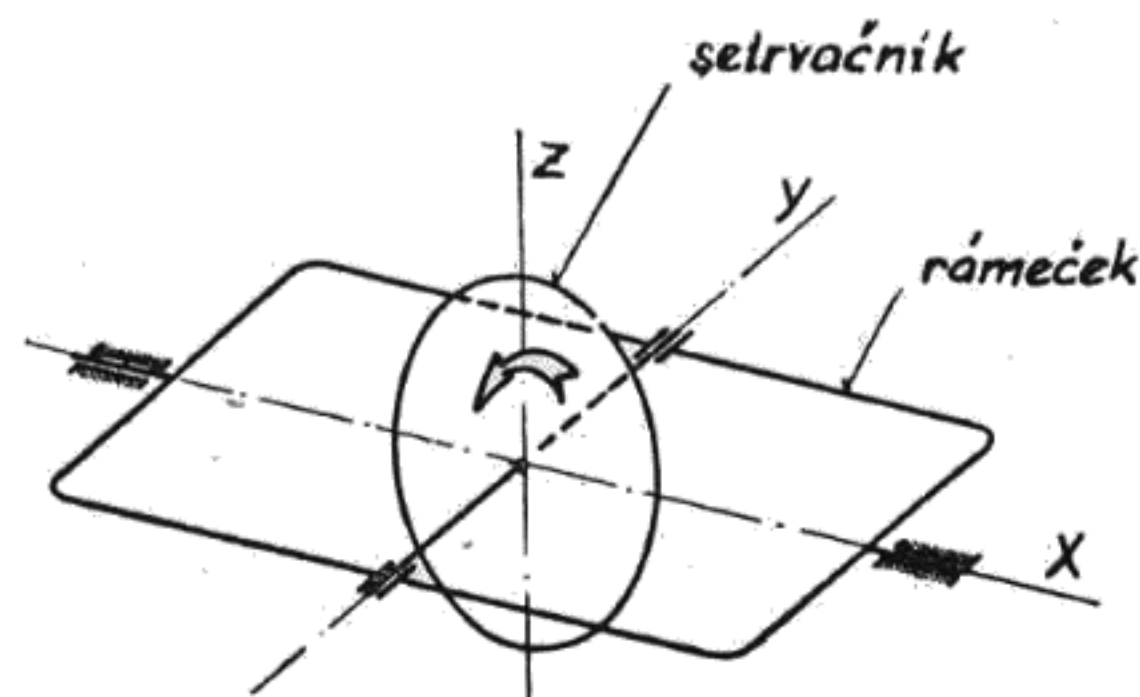
Zjistíme, že „síla“ naklání je tím větší, čím rychleji kolem natáčíme okolo osy o_1 a čím rychleji se kolo točí kolem své osy otáčení na hřidelce.

Představíme-li si nyní místo rozebraného kola od jízdního kola nebo motocyklu setrvačník, umíme vysvětlit základní funkci zatačkoměru.

Schéma uchycení setrvačníku zatačkoměru je nakresleno na obrázku 9.2.



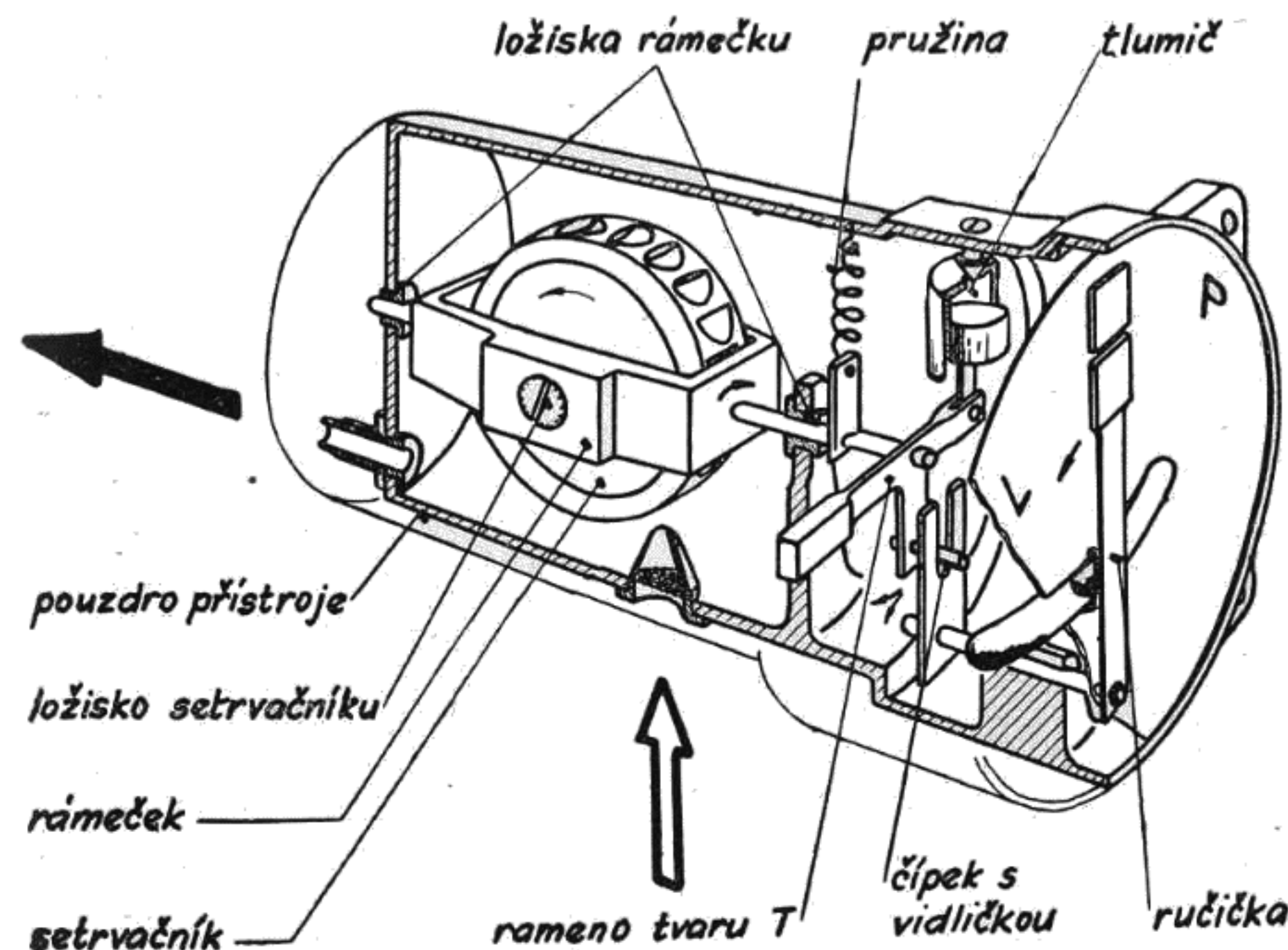
Obr. 9.3. Poloha setrvačníku vzhledem k ose zatačky.



Obr. 9.2. Schéma uchycení setrvačníku zatačkoměru.

Setrvačník se rychle otáčí kolem osy Y v ložiskách rámečku, který se může otáčet v ložiskách pouzdra přístroje kolem osy X . Osa Y je u většiny zatačkoměrů položena ve směru příčné osy letadla, osa X ve směru podélné osy letadla. Osa otáčení setrvačníku zatačkoměru musí být vždy vodorovná.

Nyní budeme celým přístrojem, tj. také celým letadlem, otáčet kolem osy Z . Vlivem tohoto otáčení nastane precesní pohyb setrvač-



Obr. 9.4. Řez zatačkoměrem s pneumatickým pohonem setrvačníku.

níku, tj. setrvačník se začne naklánět kolem osy X a tak nutí, aby se kolem osy X nakláněl i rámeček závěsu.

Označíme-li si úhlovou rychlost otáčení setrvačníku ω_1 , úhlovou rychlost rušivého otáčení celým přístrojem kolem osy Z ω_2 a polární moment setrvačnosti setrvačníku I , bude moment naklápění rámečku se setrvačníkem kolem osy X dán vztahem:

$$M = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot I \cdot \cos \delta,$$

kde δ je úhel mezi rovinou otáčení setrvačníku a osou zatačky letadla. (Obr. 9.3.)

Z uvedeného vztahu vidíme, že moment M je tím větší, čím rychleji se setrvačník otáčí (čím větší je ω_1), čím větší je moment setrvačnosti setrvačníku I a čím rychleji otáčíme přístrojem kolem osy Z (čím větší je ω_2). Moment setrvačnosti

setrvačníku, stejně jako otáčky setrvačníku jsou dány konstrukcí, nemůžeme je ovlivnit a jsou pro nás konstantní. Moment naklápění rámečku bude tedy tím větší, čím větší bude úhlová rychlost otáčení kolem citlivé osy přístroje, tj. kolem osy Z.

Moment bude také tím větší, čím menší bude úhel δ . Proto také je volen smysl otáčení setrvačníku podle obrázku 9.4, aby se rámeček vychyloval vždy proti naklápění letadla a tím aby byl úhel δ vždy co nejmenší, i když musíme převádět smysl výchylky rámečku na ručičku zařízením, popsaným dále (čípek na rameni tvaru T ve spojení s vidličkou, jak vidíme z detailního obrázku 9.5).

Podívejme se nyní blíže na konstrukci zatačkoměru.

Setrvačník, který je roztáčen buď pneumaticky nebo elektricky, jak si povíme dále, otáčí se v ložiskách rámečku kolem osy Y. Rámeček závěsu se může otáčet v ložiskách pouzdra přístroje kolem osy X. Obrázek 9.4 uvádí řez zatačkoměrem s pneumatickým pohonem setrvačníku.

Závěsný hřídelík rámečku závěsu je prodloužen a nese na sobě rameno, které je spojeno s pouzdrům přístroje pružinou, která určuje rozsah citlivosti zatačkoměru. Hřídelík rámečku dále přechází v rameno tvaru T, které na jednom svém vodorovném rameni nese pístek tlumiče (který tlumí pohyb rámečku závěsu), na druhém vodorovném rameni nese závažíčko, které vyvažuje váhu tlumicího pístku.

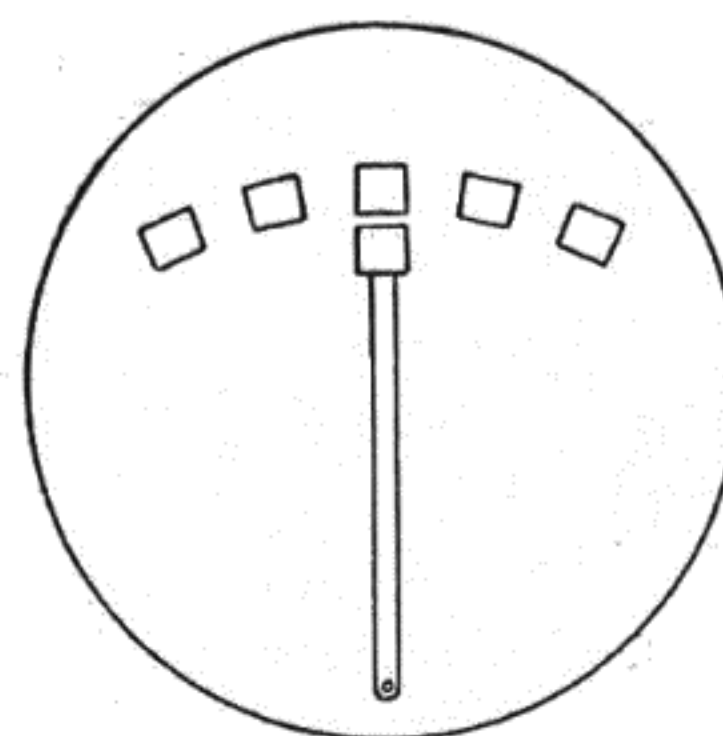
Ze svislého ramene je vyveden čípek, který zasahuje do vidličky. Na hřídelíku vidličky je ručička přístroje, která je viditelná čelním sklem v čelní desce přístroje.

Při vychylování rámečku setrvačníku vlivem otáčení letadla kolem osy Z, tj. kolem kolmé osy letadla, vykývne spolu s rámečkem setrvačníku také rameno tvaru T. Spolu s ramenem T vychýlí se tedy také čípek na svislém rameni a tím nutí vidličku, aby se vychýlila.

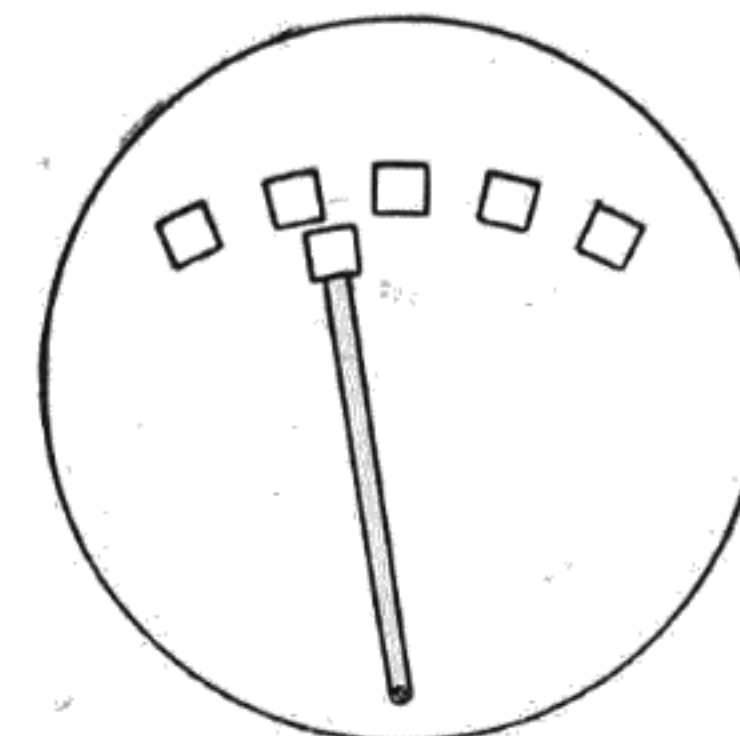
Na obrázku 9.5 vidíme čárkovaně kreslenou polohu ramene T, které je pevně spojeno s rámečkem závěsu setrvačníku, a polohu vidličky v případě, že rámeček je ve střední poloze, tj. rychlost

zátáčení letadla kolem osy Z je rovna nule. Plnou čarou je nakresleno vychýlené rameno tvaru T směrem doprava a tím i nuceně vychýlená vidlička. Vidíme, že čípek na rameni T a vidlička slouží jako převraceč smyslu pohybu rámečku setrvačníku.

Protože na hřídelce s vidličkou je společně i ručička přístroje, vychýlí se spolu s vidličkou i ručička přístroje. Výchylka ručičky ze



Obr. 9.6. Poloha ručičky v přímém letu.



Obr. 9.7. Poloha ručičky při mírném zátáčení letadla kolem kolmé osy letadla (vlevo).

střední polohy je tím větší, čím rychlejší je otáčení letadla kolem kolmé osy, tj. kolem osy Z. Přesněji řečeno závisí výchylka ručičky také na otáčkách setrvačníku a na momentu setrvačnosti, tj. hmotnosti setrvačníku. Obě hodnoty jsou však pro každý zatačkoměr konstantní, tedy na výchylku ručičky má vliv již jen rychlost otáčení letadla kolem kolmé osy.

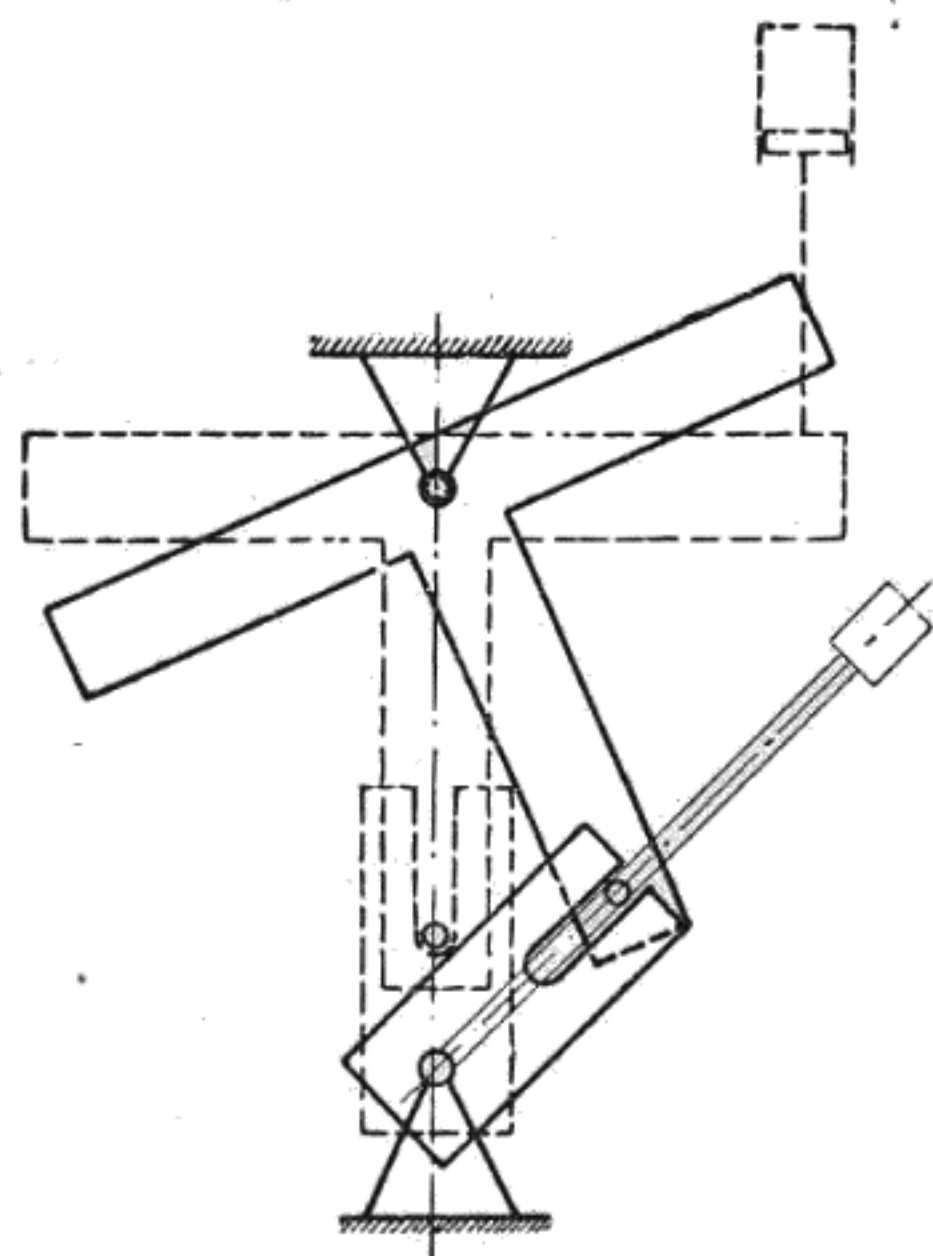
Přestane-li se letadlo kolem kolmé osy Z otáčet, vrátí se ručička zatačkoměru zpět do střední polohy, protože setrvačník a tedy i rámeček není již ničím vychylován a pružina vrátí rámeček se setrvačníkem do střední (základní) polohy.

Probereme si nyní některé charakteristické údaje ručičky zatačkoměru.

V přímém letu je ručička přístroje ve střední poloze, protože letadlo se neotáčí kolem osy Z.

Začne-li se letadlo kolem kolmé osy otáčet například vlevo, vychýlí se ručička zatačkoměru vlevo a to na takovou výchylku ze střední polohy, jaká odpovídá dané rychlosti otáčení letadla kolem osy Z.

Zvětšujeme-li rychlost zátáčení (úhlovou rychlost zátáčení letadla kolem osy Z), zvětšuje se i výchylka ručičky zatačkoměru, až při

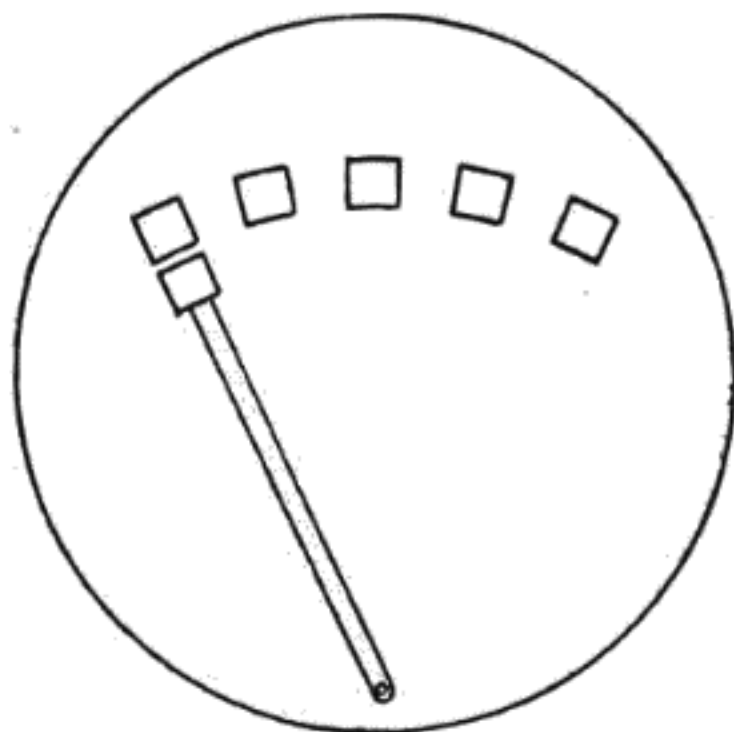


Obr. 9.5. Vzájemné vychylování ramene tvaru T a vidličky s ručičkou.

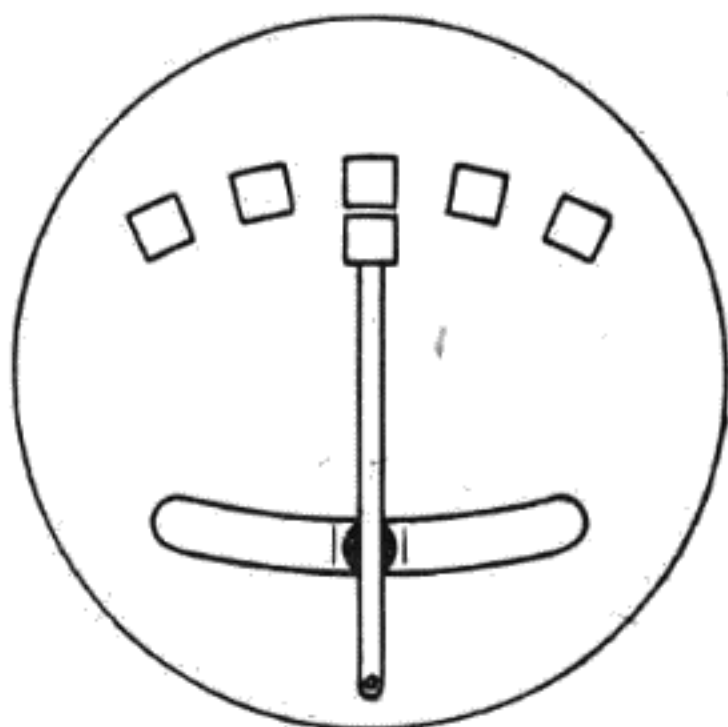
určité velikosti zatačení zaujme ručička krajní polohu. Obrázek 9.8 znázorňuje takový případ pro otáčení vlevo.

Protože se užívá spojení zatačkoměru s příčným relativním sklonoměrem (kromě ručičky zatačkoměru je na čelní desce přístroje ještě kulička příčného relativního sklonoměru), budeme v dalších příkladech údaje zatačkoměru uvádět i údaje příčného relativního sklonoměru.

Čelní deska přístroje je ve všech obrázcích kreslena při pohledu ve směru letu, tj. ve směru od pilota dopředu. Přístroj je vždy kreslen tak, jak jej vidí pilot, tj. bez ohledu na polohu vzhledem k Zemi.



Obr. 9.8. Rychlost otáčení letadla kolem kolmé osy letadla (vlevo) dosáhla takové hodnoty, že ručička je v krajní poloze.



Obr. 9.9. Poloha ručičky zatačkoměru a kuličky příčného relativního sklonoměru při přímém letu s vodorovnou příčnou osou letadla.

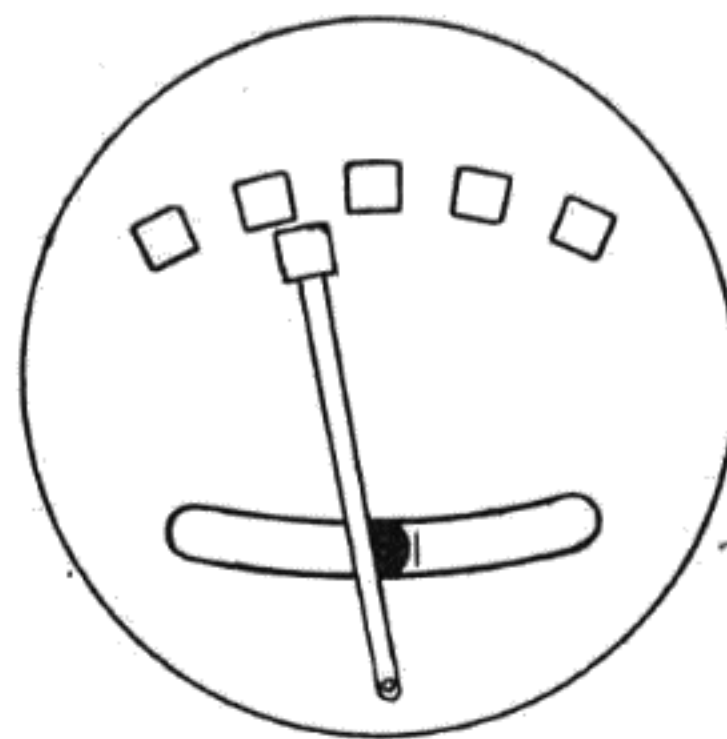
Při rovnoměrném vodorovném přímém letu, kdy letadlo „nevisí“ na některou stranu, jsou ručička i kulička kombinovaného přístroje ve střední poloze, jak ukazuje obrázek 9.9.

Nyní začneme provádět mírnou zatačku vlevo. Provádíme zatačku správnou, to znamená, že výslednice z váhy letadla a odstředivé síly působí ve směru kolmé osy letadla, proto také kulička příčného relativního sklonoměru bude ve střední poloze mezi ryskami.

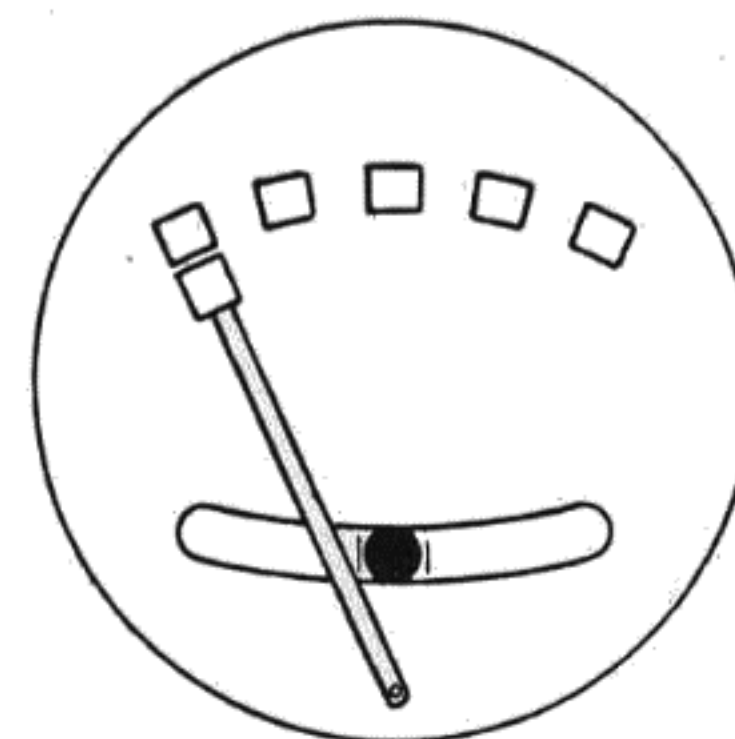
Protože se otáčíme kolem osy Z vlevo, bude ručička vychýlena ze střední polohy vlevo.

Nyní budeme stále zvětšovat náklon zatačky, přičemž však stále provádíme zatačku správnou, tedy kulička příčného relativního sklonoměru bude mezi středními ryskami. Protože zvětšujeme náklon zatačky, zvětšuje se rovněž úhlová rychlost zatačení letadla kolem kolmé osy Z. Ručička přístroje se tedy bude stále více a více vychylovat ze střední polohy. Až při náklonu zatačky $30 \div 45^\circ$

(závisí na typu užitého zatačkoměru) bude ručička úplně v krajní poloze a při dalším zvětšování náklonu zatačky již nemáme kontrolu velikosti úhlové rychlosti. Na obrázku 9.11 je nakreslen údaj kom-



Obr. 9.10. Poloha ručičky a kuličky při správné zatačce vlevo.



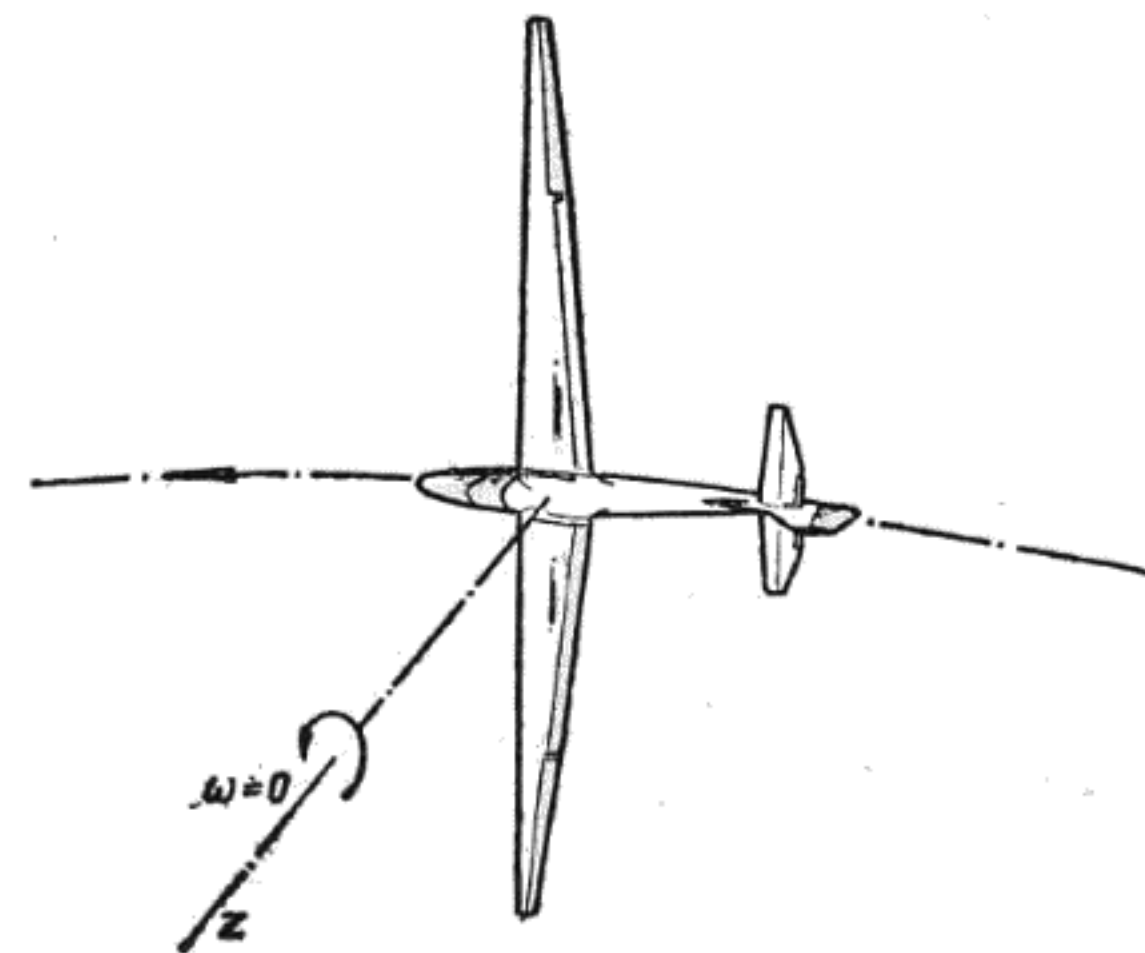
Obr. 9.11. Poloha ručičky a kuličky v zatačce o náklonu větším než $30 \div 45^\circ$.

binovaného přístroje při levé zatačce s náklonem větším než $30 \div 45^\circ$. Z takového údaje přístroje poznáme jen, že provádíme správnou zatačku s náklonem větším než je náklon $30 \div 45^\circ$.

Nyní si musíme uvědomit jednu důležitou okolnost, která vyplývá z funkce zatačkoměru.

Řekli jsme si, že ručička přístroje ukazuje velikost úhlové rychlosti otáčení letadla kolem kolmé osy Z. Letíme-li nyní v zatačce o značném náklonu a náklon zvyšujeme na úhel blízký 90° , zmenšuje se rychlost otáčení letadla kolem osy Z, až při náklonu 90° by toto otáčení kolem kolmé osy bylo rovno nule.

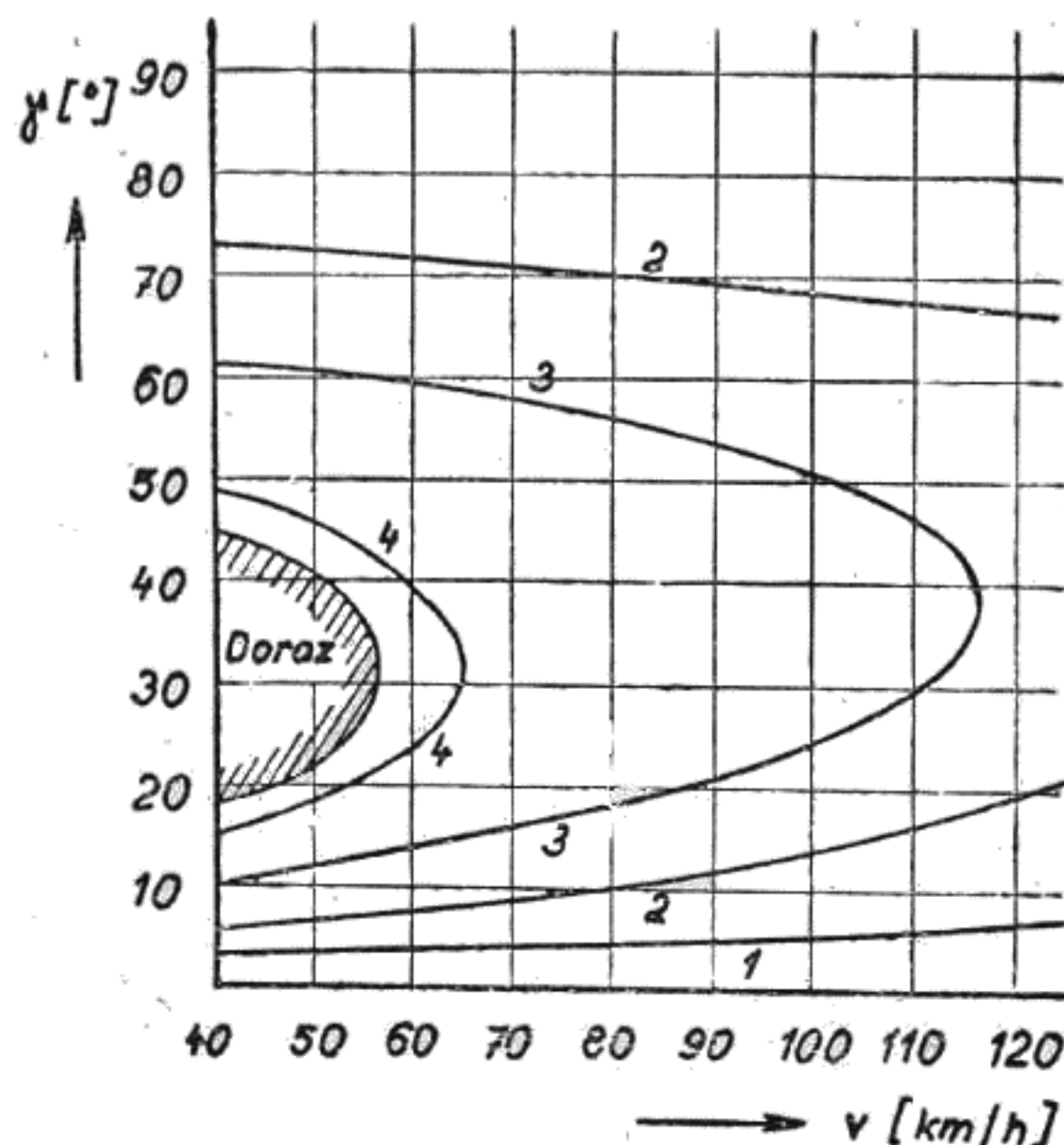
Z toho si odvodíme, že při zvětšování úhlu náklonu zatačky na



Obr. 9.12. Při zatačce s náklonem 90° je úhlová rychlost zatačení letadla kolem kolmé osy letadla nulová.

veliké úhly náklonu přes $50 \div 60^\circ$ začne se ručička zatačkoměru vracet zpět do střední polohy, protože úhlová rychlost otáčení kolem citlivé osy přístroje, tj. kolem osy Z se zmenšuje.

Kdybychom mohli provést ustálenou správnou zatačku s náklonem 90° , potom by ručička zatačkoměru byla ve střední poloze,



Obr. 9.13. Závislost úhlu náklonu větrone a rychlosti letu.

(tento stav byl pozorován ještě těsně před „záhadným“ zvyšováním rychlosti větrone). Podle zkušeností z letů za viditelnosti země by mělo být vše v pořádku. V čem je tedy příčina?

Musíme se blíže podívat na teorii kroužení podle zatačkoměru.

Výchylka ručičky zatačkoměru je úměrná úhlové rychlosti otáčení letadla kolem kolmé osy Z. Tento údaj však pro pilota nemá valnou cenu, protože úhlová rychlost se mění s cosinem úhlu náklonu větrone. To znamená, že výchylka ručičky zatačkoměru bude maximální pro danou úhlovou rychlost při nulovém náklonu větrone. Pro náklon 90° bude výchylka ručičky nulová (ručička bude ve střední poloze) pro jakoukoliv úhlovou rychlost otáčení kolem kolmé osy letadla.

Mnohem důležitější bude zjištění úhlové rychlosti zatačky kolem svislice (kolem osy zatačky) a také náklon větrone v zatačce. Pro kroužení s kuličkou příčného relativního sklonoměru uprostřed je možno určit z velikosti výchylky ručičky zatačkoměru a úhel náklonu větrone z údaje rychloměru.

Pro správnou zatačku v horizontu platí:

$$\omega_o = \frac{g \cdot \operatorname{tg} \gamma}{v}$$

protože rychlost otáčení kolem kolmé osy letadla, tj. kolem citlivé osy zatačkoměru, je nulová.

Základním úkolem pilota při letu bez viditelnosti země podle zatačkoměru je udržet větrone v rovnoměrném normálním letu, buď v přímém letu nebo v kroužení, nebo uvést větrone do tohoto režimu letu.

Je běžným zjevem i u zkušenějších plachtářů, že po kratším nebo delším kroužení v mraku se zvýší rychlost větrone na 100 i 150 km/h a pilot přes všechnu snahu rychlost snížit (přitahováním výškového kormidla) vyčlétne z mraku zpravidla v ostré spirále. Přitom až do poslední chvíle byla kulička uprostřed a ručička zatačkoměru nebyla ještě v krajní poloze

kde: ω_o je úhlová rychlost zatačky kolem svislice

g je zrychlení tíže zemské

γ je úhel náklonu větrone

v je rychlost větrone

Zatačkoměr udává však úhlovou rychlost letadla kolem kolmé osy Z ω_z :

$$\omega_z = \omega_o \cdot \cos \gamma$$

Moment, vychylující rámeček setrvačníku je dán vztahem:

$$M = \omega_1 \cdot \omega_z \cdot \sin \alpha$$

kde α je doplňkový úhel do 90° s úhlem δ , uvedeným v obrázku 9.3.

Jakmile se setrvačník s rámečkem vychýlí o úhel α , změní se moment, kterým je setrvačník natáčen v poměru $\sin (90 - \alpha)$, tj. $\cos \alpha$.

Tak dostaneme výraz:

$$\omega_r = \omega_o \cdot \cos (\gamma - \alpha) \quad (1)$$

kde ω_r je úhlová rychlost otáčení kolem osy rovnoběžné s vychýlenou ručičkou zatačkoměru. (V těchto úvahách považujeme výchylku rámečku se setrvačníkem shodnou s výchylkou ručičky zatačkoměru.)

Pro nakloněné letadlo platí vztah:

$$\omega_r = \omega_o \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

Předpokládáme přímkovou závislost mezi úhlovou rychlostí ω_o a úhlem α , tedy pro nulový náklon letadla platí:

$$\omega_o = K \cdot \alpha \quad (2')$$

Hodnotu konstanty K je možno měnit volbou tuhosti pružiny. Potom tedy:

$$\omega_r = K \cdot \alpha \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

Dosazením rovnice 3 do rovnice 1 dostaneme:

$$K \cdot \alpha \cdot \cos \alpha = \omega_o \cdot \cos (\gamma - \alpha)$$

a po úpravě:

$$\omega_o = K \cdot \alpha \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos (\gamma - \alpha)} \quad (4)$$

Pro tak zvaný pětiznačkový zatačkoměr známe jeho přímkovou charakteristiku $K \cdot \alpha$, kdy jeden dílek výchylky ručičky, tj. výchylka ručičky o 8° odpovídá úhlové rychlosti $\omega_o = 2^\circ/\text{sec}$.

Použijeme-li již uvedeného vzorce

$$\omega_o = \frac{g \cdot \operatorname{tg} \gamma}{v}$$

a rovnice 4, dostaneme vztah:

$$\frac{g \cdot \operatorname{tg} \gamma}{v} = K \cdot \alpha \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos (\gamma - \alpha)} \quad (5)$$

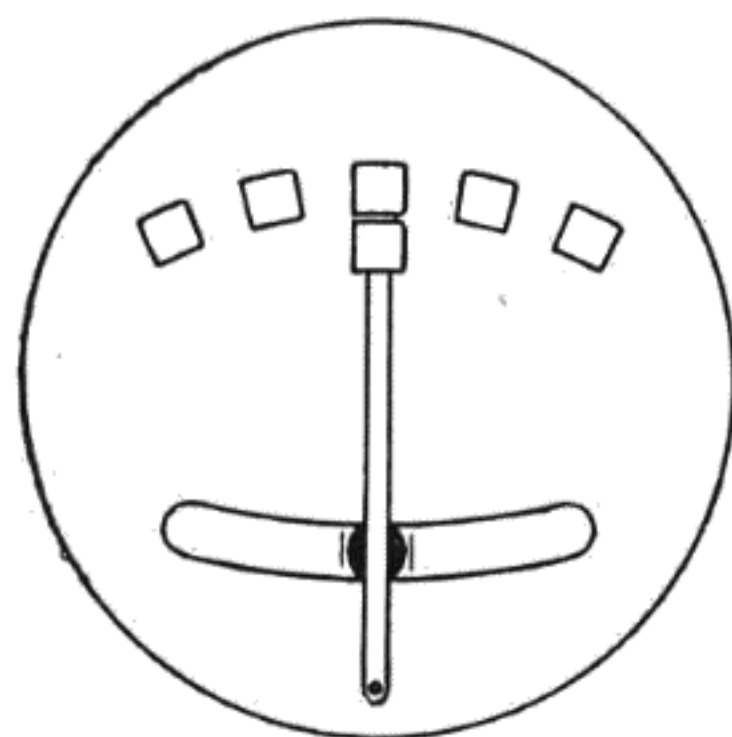
Je to závislost rychlosti letadla, úhlu náklonu a úhlu vychýlení ručičky zatačkoměru. Řešením této rovnice pro dvě neznámé veličiny (rychlost letu a výchylku ručičky) dostaneme neznámou, tj. náklon letadla.

Protože není charakteristika zatačkoměru v celém rozsahu výchylky ručičky přímková, nevynášejí se závislosti podle uvedeného vzorce, ale užije se naměřených hodnot pro určitý zatačkoměr.

Uvedeme si v literatuře uvedenou závislost pro pětiznačkový zatačkoměr.

V obrázku 9.13 je uvedena závislost mezi rychlostí letu v a náklonem větroně γ . Jednotlivé křivky platí pro výchylku ručičky zatačkoměru o jeden dílek, kde dílkem výchylky ručičky rozumíme takovou výchylku, kdy se značka na konci ručičky posune o svou šířku.

Uvedené řešení bylo ovšem provedeno ve zjednodušené formě, protože řešení s přihlédnutím na změny podélného sklonu letadla, na opravy údaje rychloměru, na vliv odstředivé síly by nezapadalo do rámce této knihy.

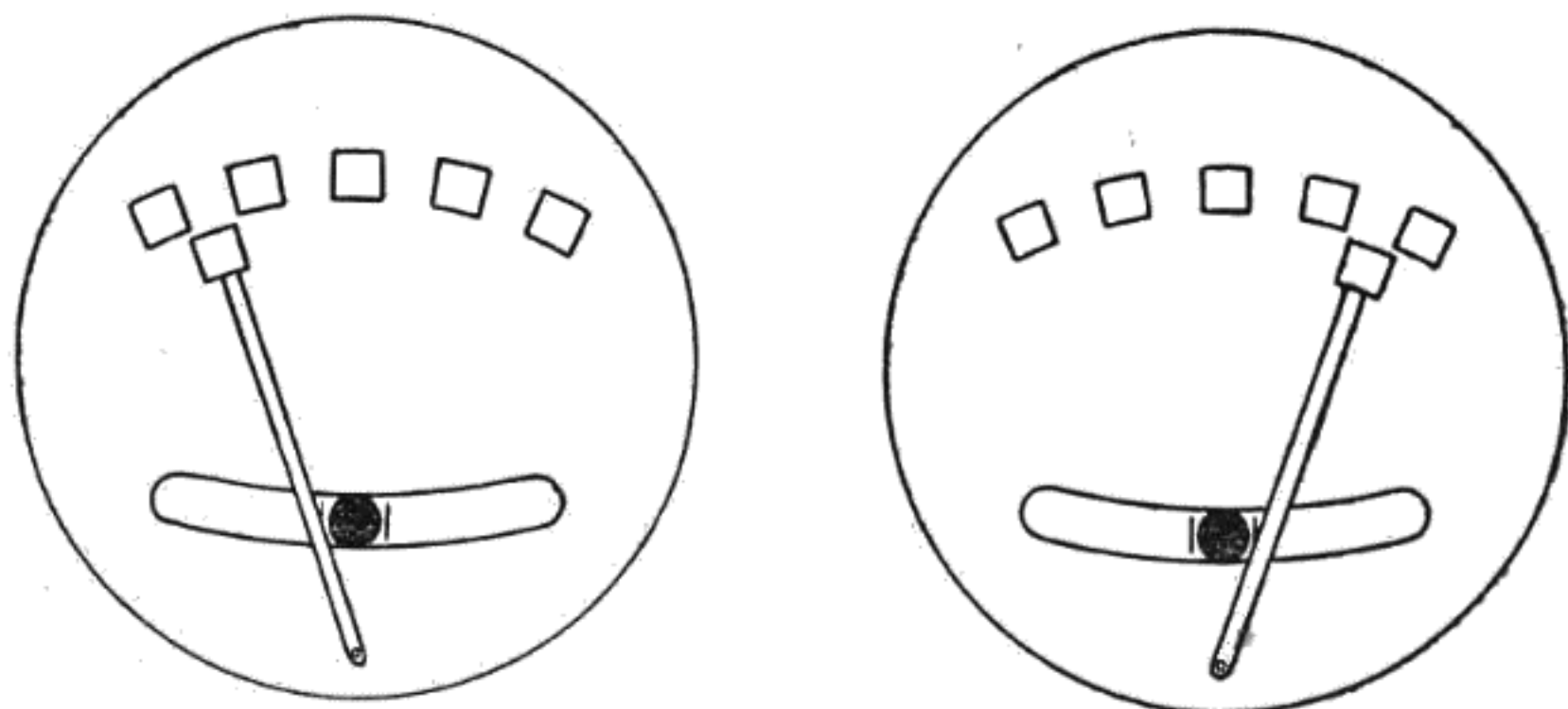


Obr. 9.14. Údaj ručičky a kuličky za přímého letu bez „visení“.

Přesto, že není účelem této knihy naučit létat podle přístrojů (podle zatačkoměru), probereme si nyní pro úplné pochopení funkce zatačkoměru některé charakteristické údaje tohoto přístroje, tj. údaje přístroje v charakteristických letových režimech.

Obrázek 9.14 uvádí údaj kombinovaného přístroje, tj. zatačkoměru a příčného relativního sklonoměru, za přímého letu bez příčného sklonu (visení).

Na obrázku 9.15 je údaj přístroje při správné zatačce vlevo (levý obrázek) a vpravo (pravý obrázek). Správná zatačka je charakterisována tím, že kulička příčného relativního sklonoměru je ve střední



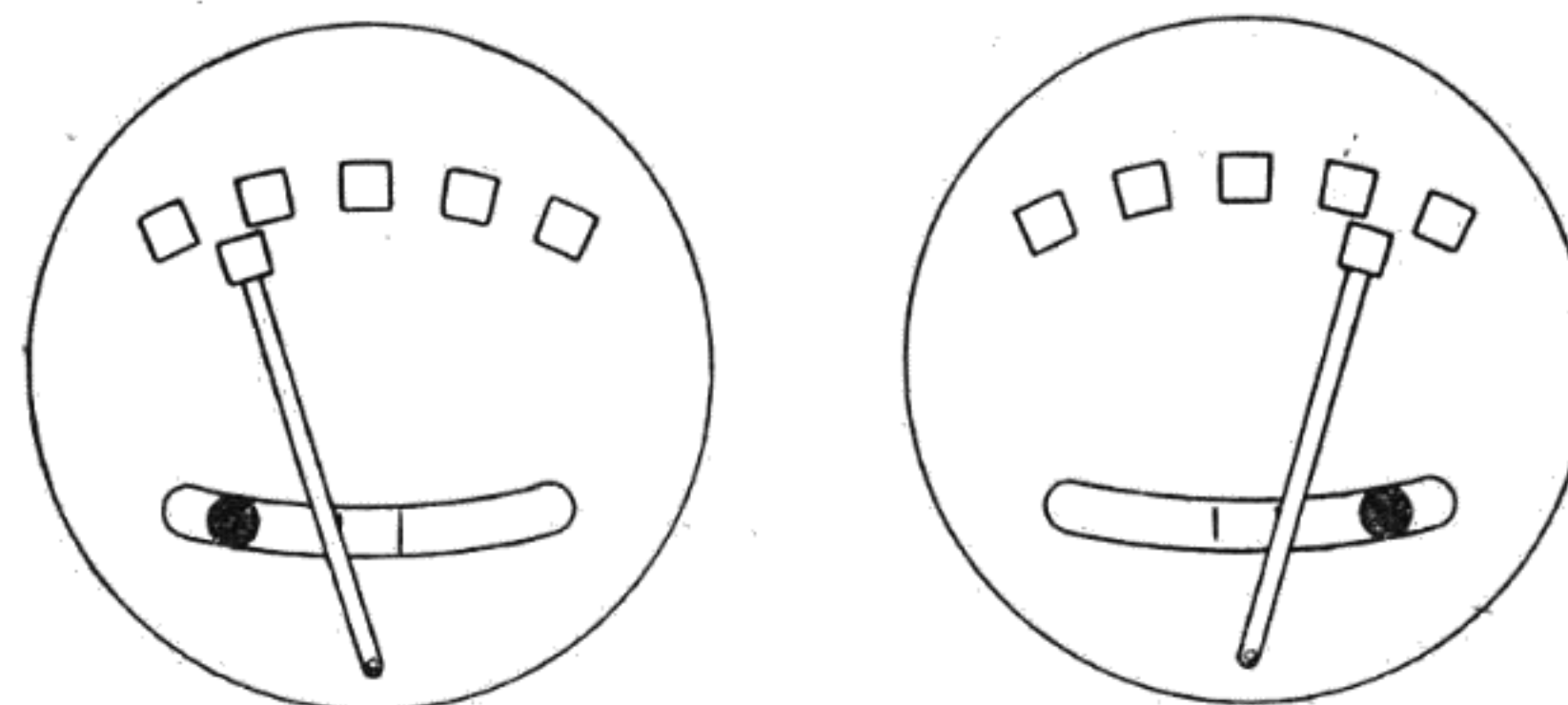
Obr. 9.15. Údaj přístroje ve správné zatačce. Vlevo: zatačka vlevo. Vpravo: zatačka vpravo.

poloze mezi ryskami. Protože ručička zatačkoměru není v krajní poloze vidíme, že provádíme zatačku s menším náklonem než asi $30 \div 45^\circ$.

Na obrázku 9.16 jsou uvedeny údaje přístroje při levé a pravé

zatačce se skluzem. Skluz je způsoben přílišným náklonem zatačky, který neodpovídá užití výchylce směrového kormidla. Bylo tedy použito více křidélek, než odpovídá volené výchylce směrového kormidla. Proto také výslednice z váhy a odstředivé síly nesměruje ve směru kolmé osy letadla, ale je odchýlena dovnitř zatačky. Tento případ můžeme vidět také na obrázku 8.8 (střední obrázek) v kapitole o relativních sklonoměrech. Kulička příčného relativního sklonoměru postaví se do směru výslednice sil, tedy vychýlí se také dovnitř zatačky.

V levém obrázku 9.16, kde je údaj při levé skluzové zatačce, je tedy kulička příčného relativního sklonoměru vychýlena vlevo.



Obr. 9.16. Údaj přístroje v zatačce se skluzem. Vlevo: v zatačce vlevo. Vpravo: v zatačce vpravo.

V pravém obrázku 9.16, kde je údaj přístroje při pravé skluzové zatačce, je tedy kulička příčného relativního sklonoměru vychýlena vpravo.

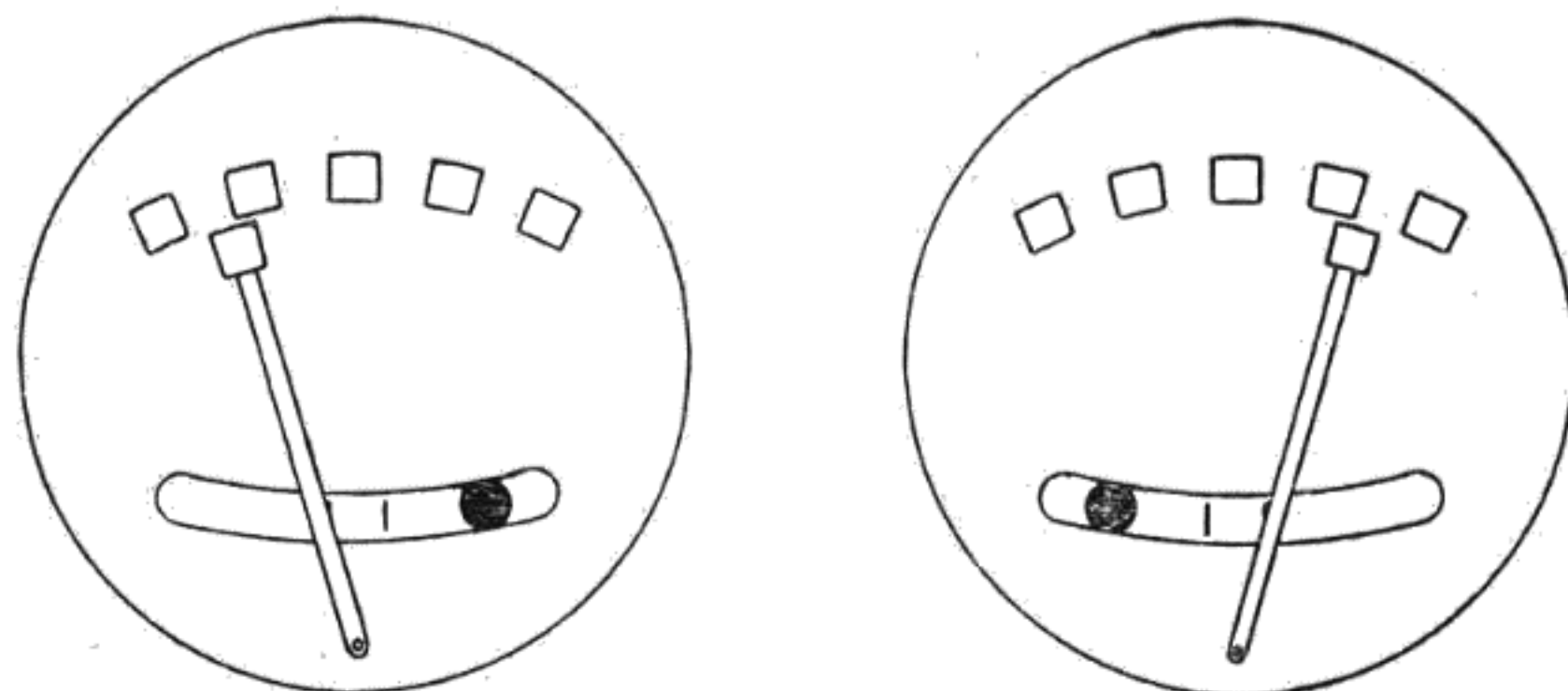
Obrázek 9.17. uvádí údaje přístroje při levé a pravé výkluzové zatačce. Výkluz je způsoben tím, že bylo užití více směrového kormidla, než odpovídá užití výchylce křidélek. Náklon letadla je tedy menší, než odpovídá užití výchylce směrového kormidla. Výslednice váhy letadla a odstředivé síly je odkloněna od směru kolmé osy letadla směrem ven ze zatačky. Tento případ je uveden také v pravém obrázku 8.8. v kapitole o relativních sklonoměrech.

Kulička příčného relativního sklonoměru se postaví do směru výslednice váhy a odstředivé síly do směru výsledného zrychlení působícího na letadlo, tedy bude vychýlena ven ze zatačky.

Na levém obrázku 9.17, kde je znázorněn údaj přístroje ve výkluzové zatačce vlevo, bude tedy kulička vychýlena ze střední polohy vpravo. V pravém obrázku 9.17, který znázorňuje údaj přístroje

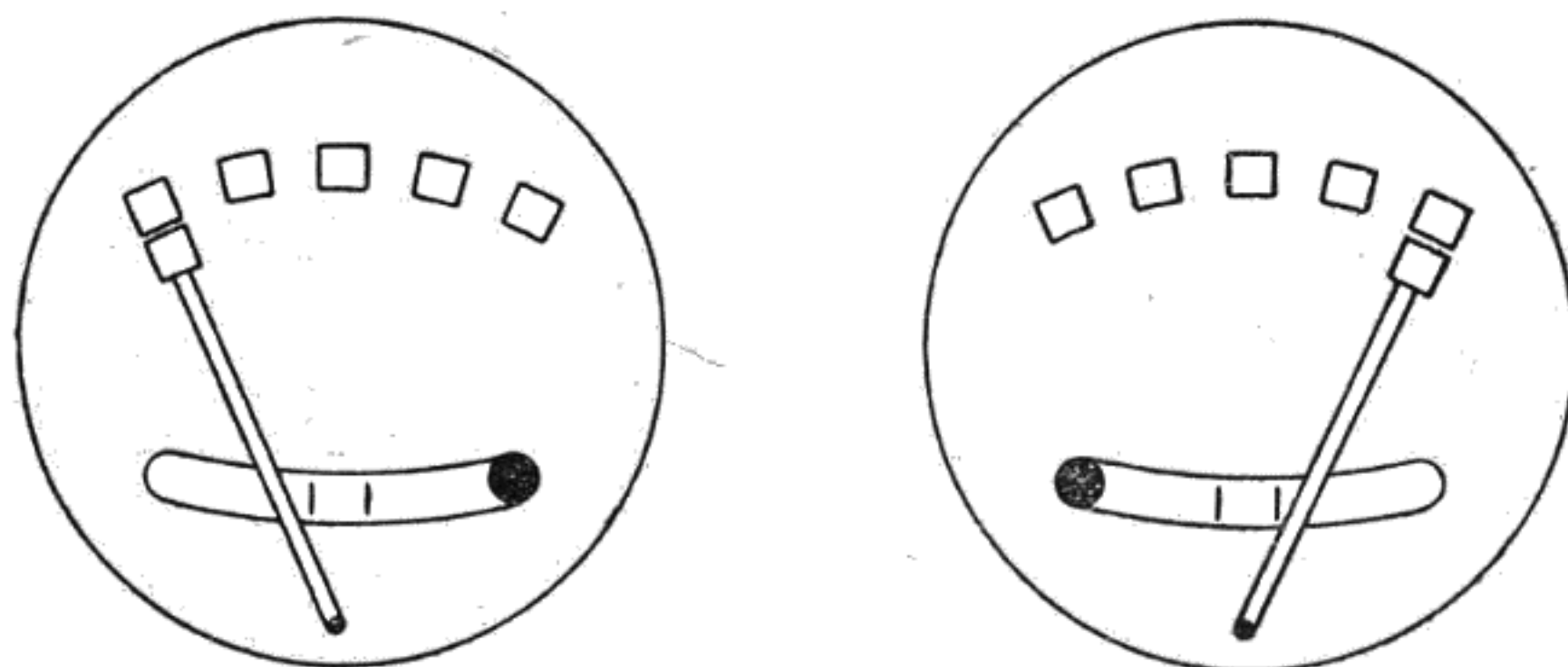
v pravé výkluzové zatáčce, bude tedy kulička příčného relativního sklonoměru vychýlena ze střední polohy vlevo.

Je-li letadlo ve vývrtce, potom se rychle otáčí kolem kolmé osy; otáčení kolem zbývajících dvou os nás zde nezajímá. Vlivem této



Obr. 9.17. Údaj přístroje v zatáčce s výkluzem.
Vlevo: v zatáčce vlevo. Vpravo: v zatáčce vpravo.

rychlé rotace s poměrně malým náklonem je odstředivá síla větší, než odpovídá náklonu výslednice váhy letadla a odstředivé síly a je odkloněna od směru kolmé osy Z směrem ven, tedy kulička příčného



Obr. 9.18. Údaj přístroje ve vývrtce.
Vlevo: ve vývrtce vlevo. Vpravo: ve vývrtce vpravo.

relativního sklonoměru je v krajní poloze. Při vývrtce vlevo bude kulička vpravo, při vývrtce vpravo bude kulička vlevo.

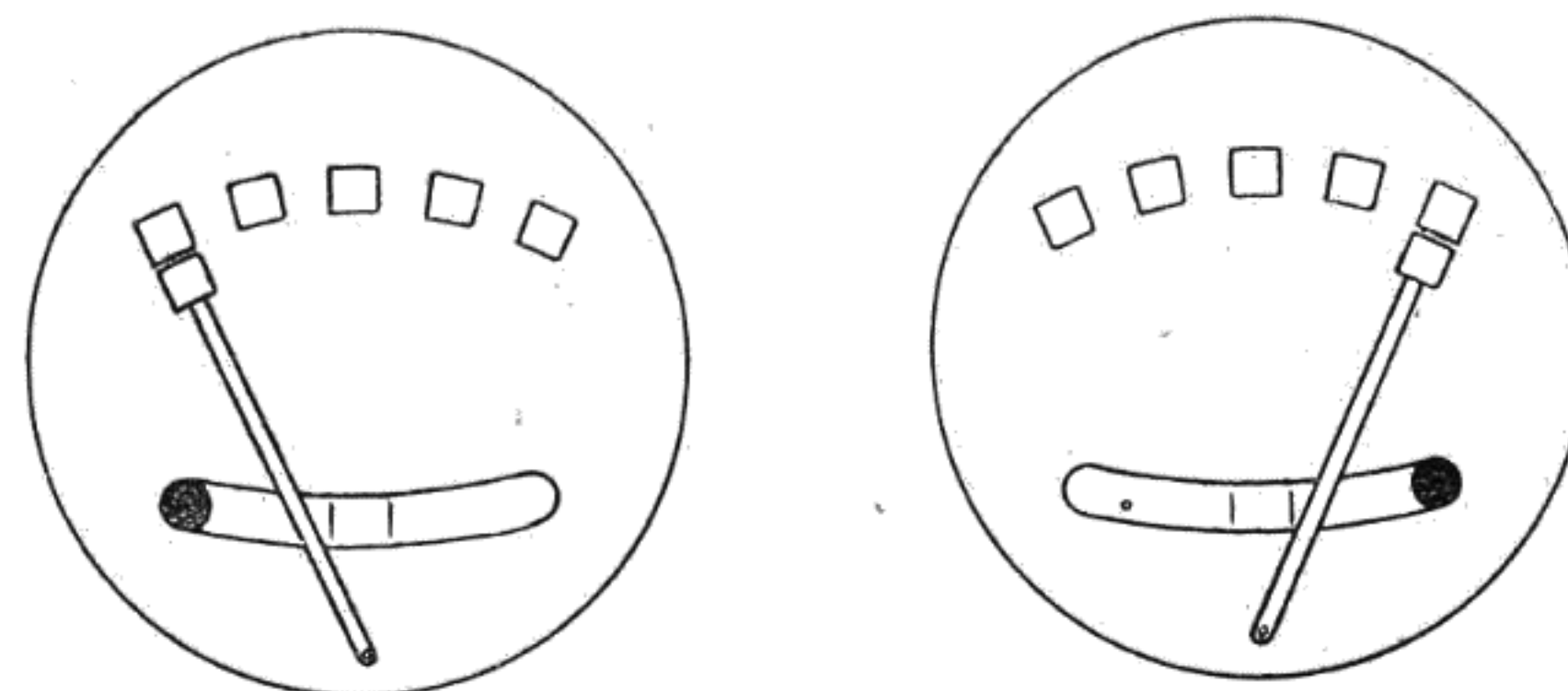
Vlivem rychlého otáčení letadla ve vývrtce kolem osy Z bude zpravidla též ručička vychýlena do krajní polohy, a to při vývrtce

vlevo bude ručička vychýlena vlevo, při vývrtce vpravo bude ručička vychýlena vpravo.

Obrázek 9.18 uvádí údaje přístroje ve vývrtce.

V levém obrázku 9.18 je údaj kombinovaného přístroje v levé vývrtce, kdy ručička zatačkoměru je vychýlena zcela vlevo, kulička příčného relativního sklonoměru je vychýlena v krajní poloze vpravo.

V pravém obrázku 9.18. je údaj přístroje ve vývrtce vpravo, kdy ručička zatačkoměru je vychýlena zcela vpravo a kulička příčného relativního sklonoměru je vychýlena v krajní poloze vlevo.



Obr. 9.19. Údaj přístroje ve spirále.
Vlevo: ve spirále vlevo. Vpravo: ve spirále vpravo.

Letí-li letadlo ve spirále, potom se nejen rychle otáčí kolem kolmé osy (kromě rotace kolem jiných os), ale také je neustále ve skluzu, protože odstředivá síla je menší než odpovídá náklonu, který je značný a mnohdy stále vzrůstá. Údaj přístroje bude tedy odpovídat svým charakterem údaji ve značně skluzové zatáčce s tím rozdílem, že ručička zatačkoměru bude v krajní poloze.

Levý obrázek 9.19 znázorňuje údaj přístroje ve spirále vlevo. Ručička zatačkoměru je vlivem rychlého otáčení letadla kolem kolmé osy Z vychýlena do levé krajní polohy. Kulička příčného relativního sklonoměru je vychýlena do pravé krajní polohy, protože výslednice váhy a odstředivé síly je značně odchýlena od směru kolmé osy letadla. Pravý obrázek 9.19 znázorňuje údaj přístroje ve spirále vpravo.

Probereme si nyní podrobněji užívané typy zatačkoměrů. V praxi se užívá dvou základních typů, které se liší pouze způsobem pohonu setrvačníku. Pohon setrvačníku je buď pneumatický nebo elektrický.

Pneumatický zatačkoměr

Jeho hrubý popis jsme si uvedli již dříve při vysvětlování základní funkce zatačkoměru. Jeho řez uvádí obrázek 9.4.

Setrvačník tohoto typu zatačkoměru je poháněn proudem vzduchu, který proudí tryskou na kapsovitá vybrání na obvodu setrvačnicku a tím jej roztáčí. Tak jako u většiny ostatních pneumaticky poháněných setrvačnickových přístrojů (u větroňů) užívá se systému odsávání vzduchu z pouzdra přístroje. Na místo odsátého vzduchu se do pouzdra přístroje potom přivádí vzduch z prostoru kabiny letadla, který je proti vzduchu z okolí letadla (zvláště při startu) čistší, tj. obsahuje daleko méně mechanických nečistot, jako je prach apod. Vzduch z prostoru kabiny letadla se přivádí přes čistič (sítko) do trysky, která ústí proti kapsovitým vybráním na obvodu setrvačnicku. Pro získání potřebného podtlaku (sání) se užívá nejčastěji dvojité Venturiho trubice, jakou znázorňuje například obrázek 10.9 v kapitole o absolutních sklonoměrech.

Značná výhoda pneumaticky poháněných setrvačníků je v tom, že nepotřebujeme žádný zdroj energie a že přístroj je za letu neustále v provozu, což je velmi výhodné zvláště pro cvičné lety.

Nevýhoda pneumatického pohonu je však v tom, že Venturiho trubice snadno zamrzá a tím vyřazuje zatačkoměr z provozu zpravidla v situacích, kdy ho je nejvíce potřeba (například při letu v mraku). Další nevýhodou je značný aerodynamický odpor dvojité Venturiho trubice, který je zvláště u moderních větroňů naprosto nežádoucí.

Elektrický zatačkoměr

Princip a funkce přístroje je stejná, jako u zatačkoměru pneumatického. Rozdíl je pouze v tom, že setrvačník elektrického zatačkoměru se roztáčí elektricky.

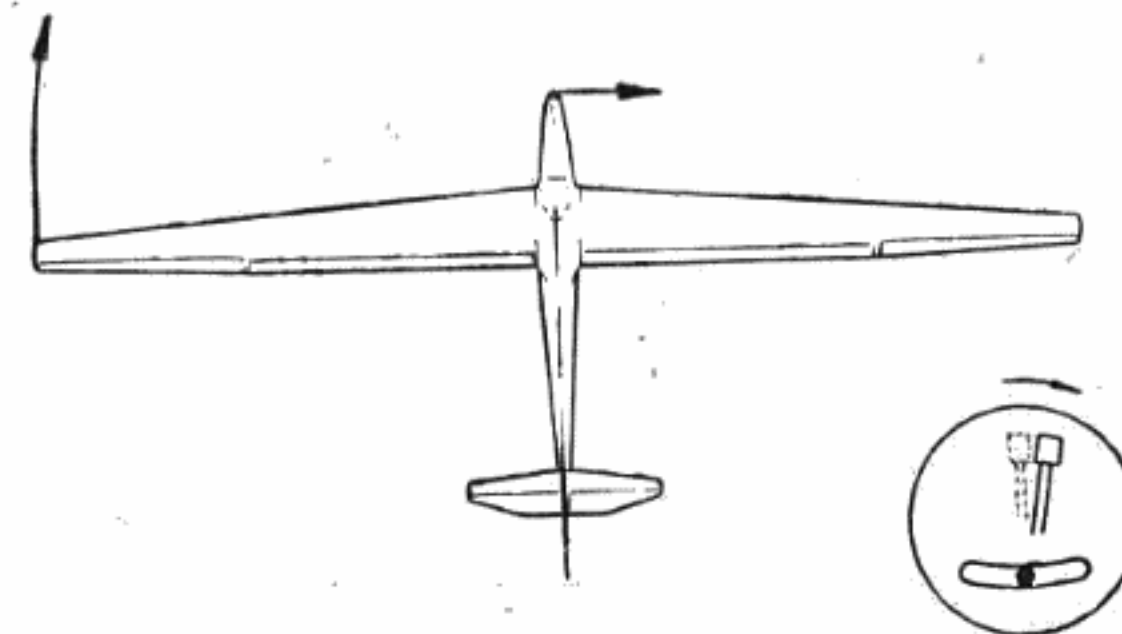
Ve větroních se užívá téměř výhradně napájení stejnosměrným napětím 4,5 voltů z plochého článku. Váha této baterie je značně nižší než u baterií normálních (24 voltů nebo 12 voltů).

Setrvačník je vytvořen jako rotor elektromotorku. Nejčastěji se užívá elektromotorku se čtyřmi póly na statoru, přičemž stator je vždy uvnitř rotoru (tedy naopak než u normálních elektromotorků), abychom mohli soustředit co největší hmotu na obvodu setrvačnicku a tím abychom dostali co největší moment setrvačnosti setrvačnicku.

Rotor je spojen s válcovým železným pláštěm, čímž se právě dosáhne značné hmoty setrvačnicku co nejdále od osy otáčení. Nevýhodou tohoto typu elektromotorků jsou kartáčky, které vždy jiskří a tím jsou rušivým zdrojem například pro radiostanici.

Setrvačník tedy pohání stejnosměrný proud, proto je nutné dbát toho, abychom při vyměňování baterie nezaměnili póly baterie, protože tak by se setrvačník otáčel opačným směrem a údaj zatačkoměru by byl opačný!

Této chyby se vyvarujeme tím, že si před letem (pokud vyměňujeme baterii na zemi) zkontrolujeme správnou polaritu baterie pro pohon setrvačnicku zatačkoměru tím, že si necháme otáčet letounem kolem kolmé osy letadla a sledujeme údaj ručičky zatačkoměru. Při pohybu nosu letadla vpravo se musí ručička zatačkoměru pohybovat (vychylovat) rovněž vpravo, při pohybu nosu letounu vlevo se musí ručička zatačkoměru vychylovat rovněž vlevo.



Obr. 9.20. Zkouška správné polarity baterie.

Provedení této zkoušky si doplníme obrázkem 9.20.

Vyměňujeme-li baterii za letu, potom se o správnosti polarity nové baterie můžeme snadno přesvědčit. Při zatačce vlevo musí se ručička zatačkoměru vychylovat vlevo, při zatačce vpravo se musí ručička zatačkoměru vychylovat rovněž vpravo.

Otáčky elektromotorku reguluje například odstředivý regulátor, který sestává obyčejně ze dvou kontaktů, umístěných na obvodu rotoru na listových pružinách, které se při zvýšení otáček nad stanovenou hranici sepnou a zařadí elektrický odpor, který způsobí snížení napájecího napětí a tím i snížení otáček elektromotorku, tj. setrvačnicku. Po snížení otáček se kontakty znovu rozepnou, napájecí napětí pro setrvačník se zvýší, otáčky se zvýší – a proces se stále opakuje. Otáčky setrvačnicku tak neustále kolísají kolem nastavené hodnoty, a to například pro otáčky 3000 ot/min. v rozsahu ± 30 ot/min.

V dnešní době se stále více používá místo plochých baterií tří monočlánků, umístěných ve speciálním pouzdra. Toto uspořádání je jednak v provozu spolehlivější než stará pouzdra na ploché baterie a dále vylučuje (téměř) možnost přepólování, tj. přehození kladného a záporného pólu, což by mělo za následek opačný smysl otáčení setrvačnicku a tím také opačný smysl údaje ručičky zatačkoměru.

Jak jsme si již uvedli, je na čelní desce zatačkoměru kromě ručičky zatačkoměru ještě příčný relativní sklonoměr (kulička).

Při montáži zatačkoměru na palubní desku musíme dbát vždy toho, aby byl montován v neskloněné poloze, aby citlivá osa přístroje byla skutečně rovnoběžná s kolmou osou letadla. O správnosti montáže se zhruba přesvědčíme tím, že při postavení letadla do horizontu

jsou obě křídla větroně stejně vzdálena od země (na vodorovném letišti) a kulička příčného relativního sklonoměru musí být ve střední poloze.

Před několika lety se stalo módou montovat zatáčkoměr na palubní desku otočený o 90° , tj. s ručičkou vodorovně. Takto zamontovaný zatáčkoměr potom reagoval na otáčení letadla kolem příčné osy, tedy reagoval také na změny podélného sklonu letadla při nalétnutí stoupavého proudu. To bylo výhodné proto, že reagoval okamžitě po nalétnutí do oblasti s jinou vertikální rychlostí vzduchu, tedy dříve než variometr. Neinformoval ovšem o velikosti stoupání, zvláště když uvážíme, že okraj stoupavého proudu je značně turbulentní, tj. prolétáváme oblastí, kdy rychlost stoupání vzduchu je v každém místě jiná. Přístroj zbytečně upoutával pozornost pilota právě v okamžiku, kdy musí sledovat více veličin zároveň. Údaj takového přístroje je lépe nahradit praxí, získanou z termických letů, kdy podle určité charakteristické turbulence ve spojení s ostatními znaky poznáme nalétnutí stoupavého proudu sami, bez pomoci natočeného zatáčkoměru.

Zatáčkoměru se často používá jako indikátoru změny směru při letech určitým kursem podle přístrojů. Můžeme totiž pomocí něho přesněji reagovat na jemné změny směru a také ihned rozlišíme skutečné změny směru od změn, které nám zdánlivě ukazuje kompas vlivem chyb, které si v kapitole o kompasech popíšeme podrobněji.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Zatáčkoměr je setrvačnickový přístroj, který ukazuje rychlost otáčení letadla kolem kolmé osy. Základním elementem přístroje je setrvačnick s vodorovnou osou otáčení (směřující nejčastěji ve směru příčné osy letadla) uložený v jednoduchém rámečku. Rámeček se otáčí kolem osy X, směřující ve směru podélné osy letadla. Zatáčí-li se letadlo určitou úhlovou rychlostí kolem kolmé osy Z, vychýlí se setrvačnick s rámečkem ze základní polohy a ručička přístroje ukáže výchylku. Velikost výchylky ručičky přístroje je úměrná velikosti úhlové rychlosti otáčení kolem kolmé osy letadla.

Rozsah přístroje lze měnit výměnou pružiny, která spojuje rámeček setrvačnicku s rámem přístroje.

Pohon setrvačnicku je buď pneumatický nebo elektrický. Na čelní desce přístroje je kromě ručičky zatáčkoměru ještě kulička příčného relativního sklonoměru.

Kontrolní otázky

1. Co je základním elementem zatáčkoměru?
2. Co ukazuje ručička zatáčkoměru?
3. V kolika rámečcích je setrvačnick zatáčkoměru uložen a jak jsou položeny jednotlivé osy otáčení?
4. Jak si vysvětlíte precesní pohyb setrvačnicku?
5. K čemu slouží direkční pružina mezi rámečkem a pouzdem přístroje?
6. Co by ukazovala ručička zatáčkoměru v zatáčce o náklonu 90° a proč?
7. Nakreslete údaje zatáčkoměru ve spojení s údajem příčného relativního sklonoměru ve správné, výkluzové a skluzové zatáčce!
8. Nakreslete údaj přístroje ve vývrtce a zdůvodněte jej!
9. Nakreslete údaj přístroje ve spirále a zdůvodněte jej!
10. Nakreslete údaj přístroje ve skluzu a zdůvodněte jej!
11. Jakého druhu pohonu setrvačnicku se u zatáčkoměrů užívá?
12. Jakého napětí baterie se užívá pro elektrické zatáčkoměry?
13. Jak se kontroluje správné zapojení nové baterie na zemi?

10. ABSOLUTNÍ SKLONOMĚRY

V kapitole o relativních sklonoměrech jsme si řekli, že základní nevýhodou relativních sklonoměrů, ať již podélného nebo příčného, je skutečnost, že neukazují sklon os letadla, ale směr výslednice všech zrychlení, působících na letadlo.

Letíme-li za podmínek viditelnosti země, potom můžeme polohu letadla (polohu jeho os) vzhledem k horizontu kontrolovat zrakem. Potom však relativního sklonoměru i za rovnoměrného letu nevyužijeme, pouze příčný relativní sklonoměr nám slouží ke kontrole správnosti zatáčky.

Letíme-li však za zhoršených podmínek (tj. za špatné dohlednosti, v mraku nebo v noci), nemůžeme již polohu letadla (polohu jeho os) přímo kontrolovat vzhledem ke skutečnému zemskému horizontu zrakem a nemůžeme také spoléhat na údaje relativních sklonoměrů, zvláště ve větroni, kde se delší rovnoměrný let prakticky nevyskytne a kde tedy relativní sklonoměry neukazují správně.

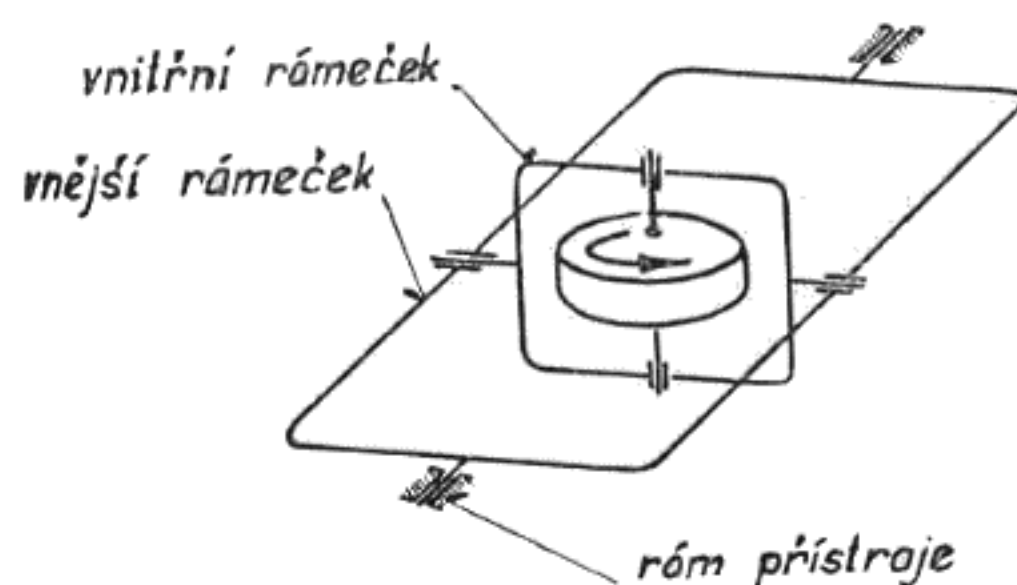
Let za takových podmínek není proto možný bez přístroje, který nemá chyby relativních sklonoměrů a který ukazuje ve všech režimech normálního letu přímo sklon příčné nebo podélné osy letadla vzhledem k horizontu (vodorovné rovině).

Přístrojům, které ukazují přímo absolutní sklon letadla (sklon jednotlivých os letadla vzhledem k zemi), říkáme absolutní sklonoměry, nebo také „umělé horizonty“.

Základním elementem umělého horizontu je setrvačnick se svislou osou otáčení, uložený v trojitěm (kardanovém) závěsu. Takto uložený setrvačnick má tu vlastnost, že zachovává osu otáčení stále ve stejné poloze (jeho rovina otáčení nemění svou polohu), ať se okolní rámečky jakkoliv vychylují. Na obrázku 10.1 je schéma uchycení setrvačnicku umělého horizontu.

Setrvačnick se otáčí kolem svislé osy v ložiskách vnitřního rámečku. Vnitřní rámeček je otočný v ložiskách vnějšího rámečku kolem vodorovné osy, směřující ve směru příčné osy letadla. Vnější rámeček závěsu je otočný v ložiskách pouzdra přístroje kolem vodorovné osy, směřující ve směru podélné osy letadla. Pouzdro (rám) přístroje je pevně uchyceno na palubní desce, tedy je pevně spojeno s letadlem.

Tři rámečky (tj. vnitřní rámeček, vnější rámeček a rám (pouzdro přístroje)) jsou nutné proto, aby setrvačnický nebyl v žádném směru „omezován“, lépe řečeno, aby se rámečky mohly nastavit do libovolné polohy tak, aby přitom nevychylovaly setrvačnický (který, jak jsme si již řekli, zachovává stále stejnou polohu).



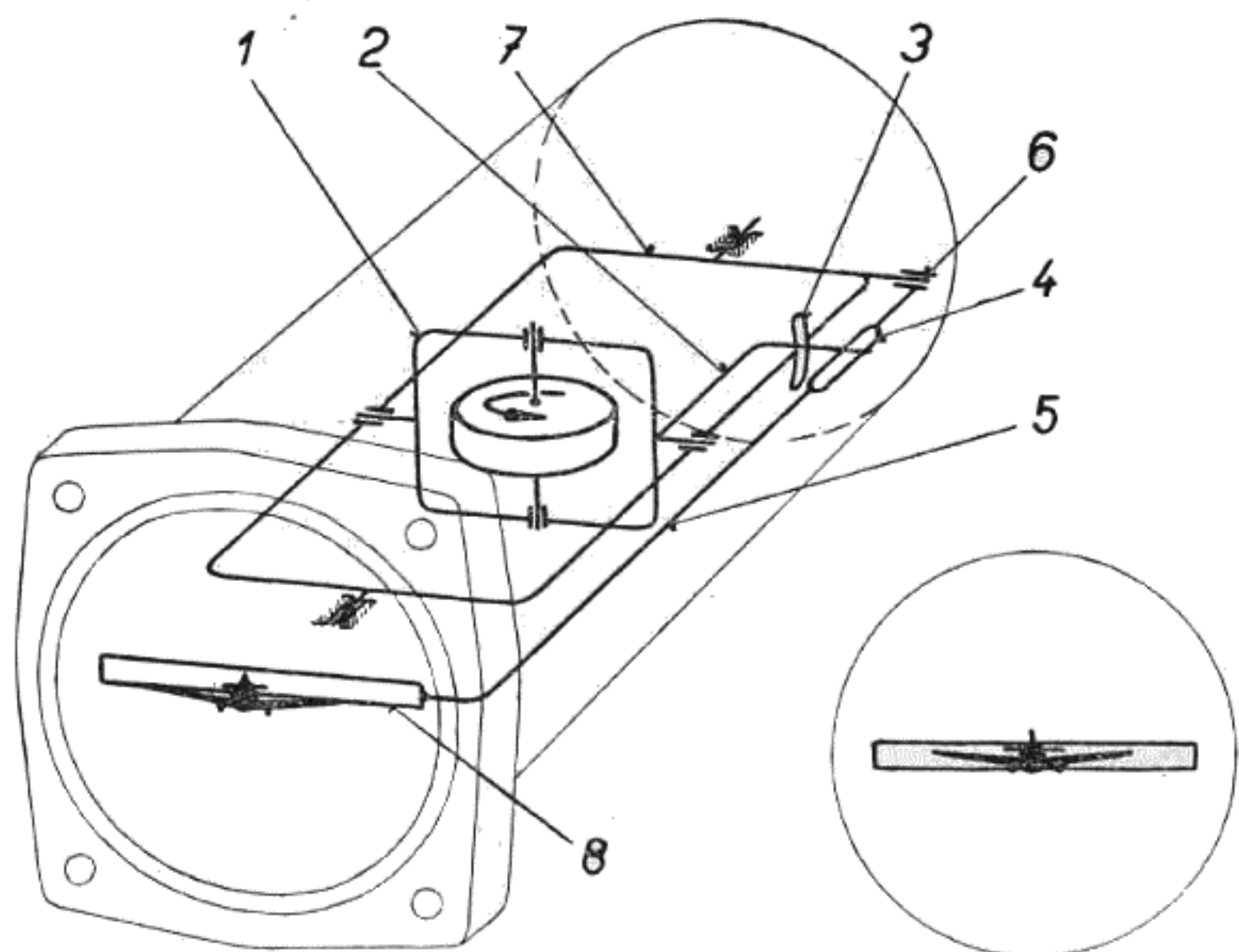
Obr. 10.1. Schéma uchycení setrvačnicku umělého horizontu.

Vzájemná výchylka rámečků (tedy i použitelnost přístroje) je z konstrukčních důvodů úhlově omezena. Například pro umělý horizont Sperry je maximální podélný sklon 60° , maximální příčný sklon 110° .

Aby se nepoškodilo uložení setrvačnicku nebo rámečků při prudkých obrazech letadla (například při akrobacii), nebo při pohybu letadla po zemi, musí být umělý horizont vybaven are-

tací, která umožňuje zajistit rámečky v základní poloze.

U moderních umělých horizontů se provozní vzájemná výchylka stále zvětšuje. Například pro umělý horizont AGK-47A, který si v závěru této kapitoly probere-me, je úhlová výchylka pro podélný sklon plných 360° , pro příčný sklon $\pm 80^\circ$.



Obr. 10.2. Přímý horizontální let bez náklonu letadla.

1 - vnitřní rámeček, 2 - rameno vnitřního rámečku, 3 - vybrání (průchodka) ve vnějším rámečku, 4 - kulisa ramene břevna, 5 - rameno břevna, 6 - ložisko, 7 - vnější rámeček, 8 - břevno.

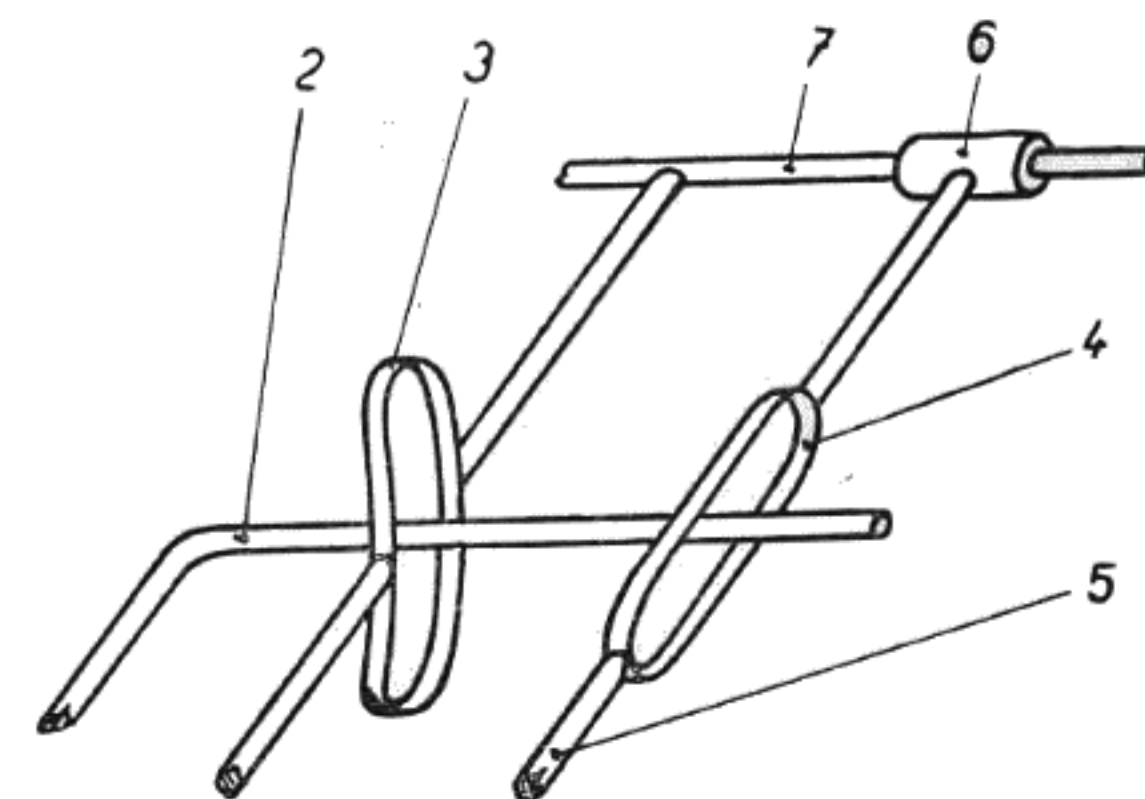
U nového československého umělého horizontu LUN 1202 se podařilo dosáhnout volnosti kolem obou os (podélný sklon 360° a příčný sklon také 360°).

Vlastní funkci umělého horizontu si vysvětlíme přímo na jednotlivých příkladech.

a) Horizontální let, letadlo nenakloněno

Letí-li letadlo v přímém horizontálním letu a příčná osa letadla je vodorovná (letadlo letí bez náklonu), jsou všechny rámečky závěsu setrvačnicku v základní poloze.

V základní poloze je i značka, vyvedená od vnitřního rámečku, které budeme říkat „břevno“. Na krycím skle přístroje (v čelní desce přístroje směrem k pilotovi) je namalováno letadélko, které nám slouží pro porovnání vzájemné polohy břevna (čáry horizontu) a polohy letadélka. Vzájemná



Obr. 10.3. Detail průchodu ramene vnitřního rámečku otvorem ve vnějším rámečku a zachycení ramene vnitřního rámečku v kulise ramene břevna.

2 - rameno vnitřního rámečku, 3 - vybrání ve vnějším rámečku, 4 - kulisa ramene břevna, 5 - rameno břevna, 6 - ložisko, 7 - vnější rámeček.

poloha břevna a letadélka na skle odpovídá skutečně vzájemné poloze skutečného horizontu (vodorovné roviny) s polohou letadla.

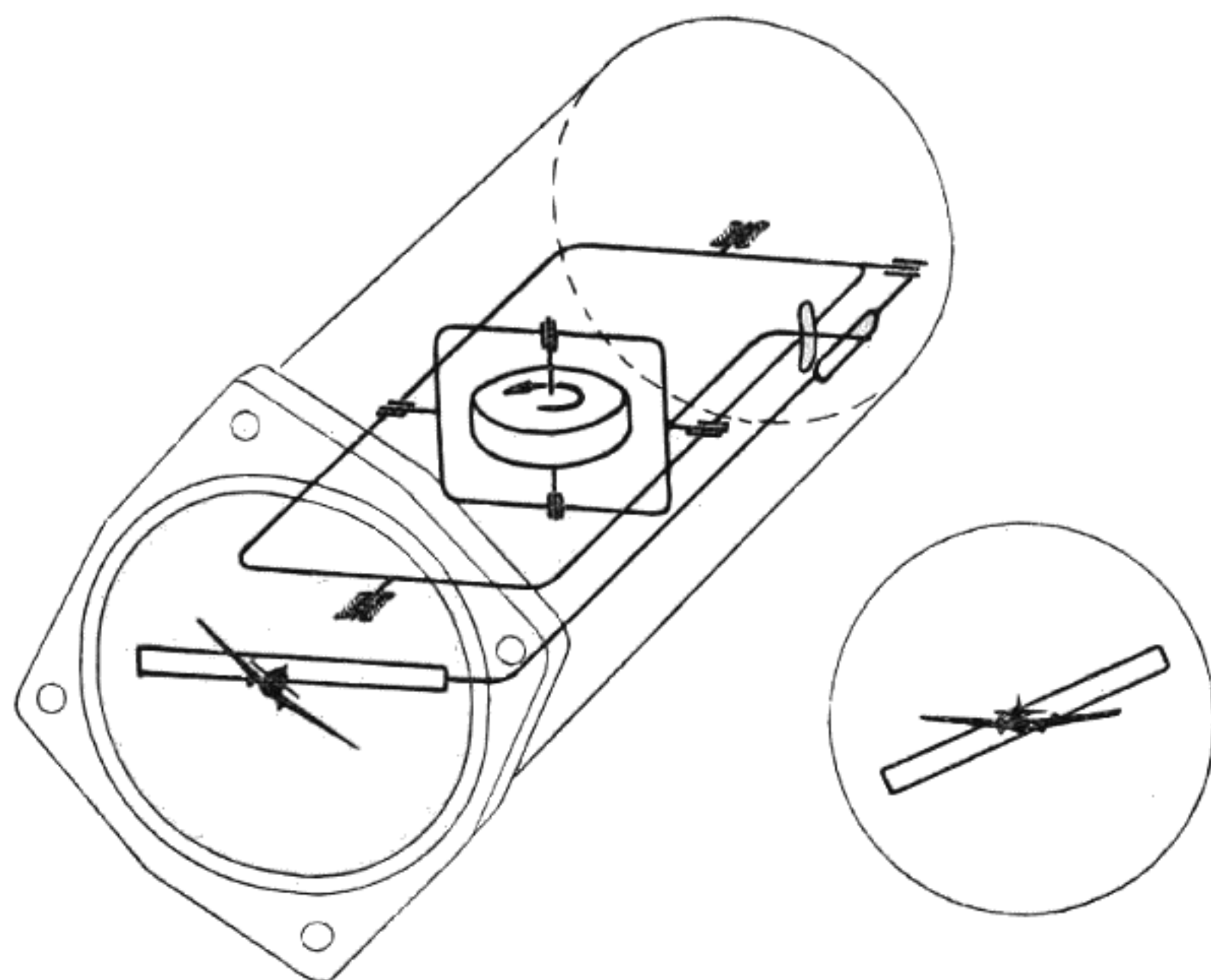
Při horizontálním přímém letu s nenakloněným letadlem bude poloha břevna a letadélka na skle odpovídat obrázku 10.2.

Vysvětlíme si ještě podrobněji způsob spojení břevna se setrvačnickem podle obrázků 10.2 a 10.3.

Od vnitřního rámečku 1 je vyvedeno rameno 2 (pevně spojené s vnitřním rámečkem), zahnuté do úhlu 90° . Zahnutá část ramene 2 prochází otvorem (vybráním) ve vnějším rámečku 3 (vybrání je zde proto, aby nebyl pohyb ramene 2 vnějším rámečkem omezován) a zasahuje do kulisy (objímky) 4 ramene břevna 5. Rameno břevna 5 je otočné v ložisku 6 vnějšího rámečku 7. Rameno břevna je vpředu zakončeno břevnem 8. Abychom snadněji pochopili svázání pohybů mezi ramenem 2 a ramenem břevna 5 je na obrázku 10.3 detail tohoto místa.

b) Přímý let s nakloněným letadlem nebo let v zatáčce

Nakloníme-li letadlo nebo provádíme-li zatáčku v horizontu, natočí se spolu s letadlem rám přístroje, zatím co setrvačnick i vnitřní rámeček zůstanou v původní poloze (jako při horizontálním přímém letu bez náklonu letadla). Nakloní se tedy vlastně jenom celé letadlo s rámem přístroje a letadélkem na skle přístroje vzhledem k břevnu,



Obr. 10.4. Přímý let s náklonem nebo let v zatáčce.

které zůstane stát v původní poloze (protože je spojeno pevně s vnitřním rámečkem závěsu setrvačnicku, který zůstal v původní poloze).

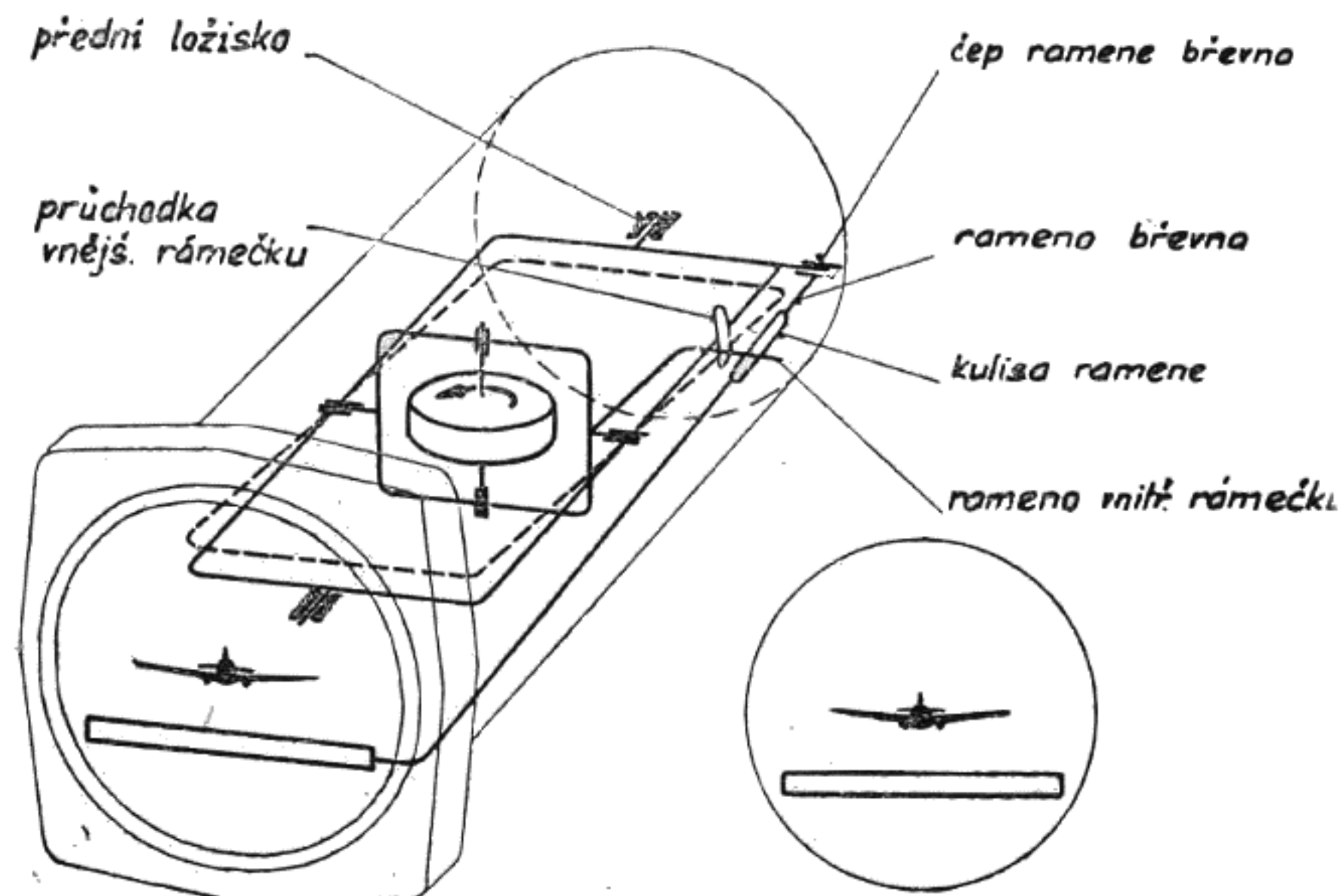
c) Přímý stoupavý let

Bude-li letadlo stoupat, tj. nos letadla (podélná osa letadla) směřuje o určitý úhel vzhledem k horizontální rovině vzhůru, zůstane stát setrvačnick i vnitřní rámeček závěsu v původní poloze (jako při horizontálním přímém letu bez náklonu letadla).

Spolu s vnitřním rámečkem zůstane v původní poloze i rameno vnitřního rámečku. Protože podélná osa letadla směřuje pod určitým úhlem vzhůru, směřuje o stejný úhel vzhůru i osa závěsu vnějšího

rámečku v pouzdru přístroje. Ložisko závěsu (přední, myšleno ve směru letu) je tedy vychýleno nahoru a zadní ložisko vnějšího rámečku dolů.

Protože rameno vnitřního rámečku, tedy i jeho zahnutá část, zůstalo v původní základní poloze, musí se vychýlit rameno břevna kolem zahnuté části ramene vnitřního rámečku v kulise ramene tak,



Obr. 10.5. Přímý stoupavý let.

jak je zřejmé z obrázku 10.5. Vlastní břevno, umístěné na konci ramene břevna vychýlí se směrem dolů, tedy pod letadélko na skle čelní desky přístroje. Vzájemná poloha letadélka a břevna je zřejmá rovněž z obrázku 10.5 z pohledu na čelní desku přístroje. Břevno (horizont) je pod letadélkem na skle, letadlo „stoupá“.

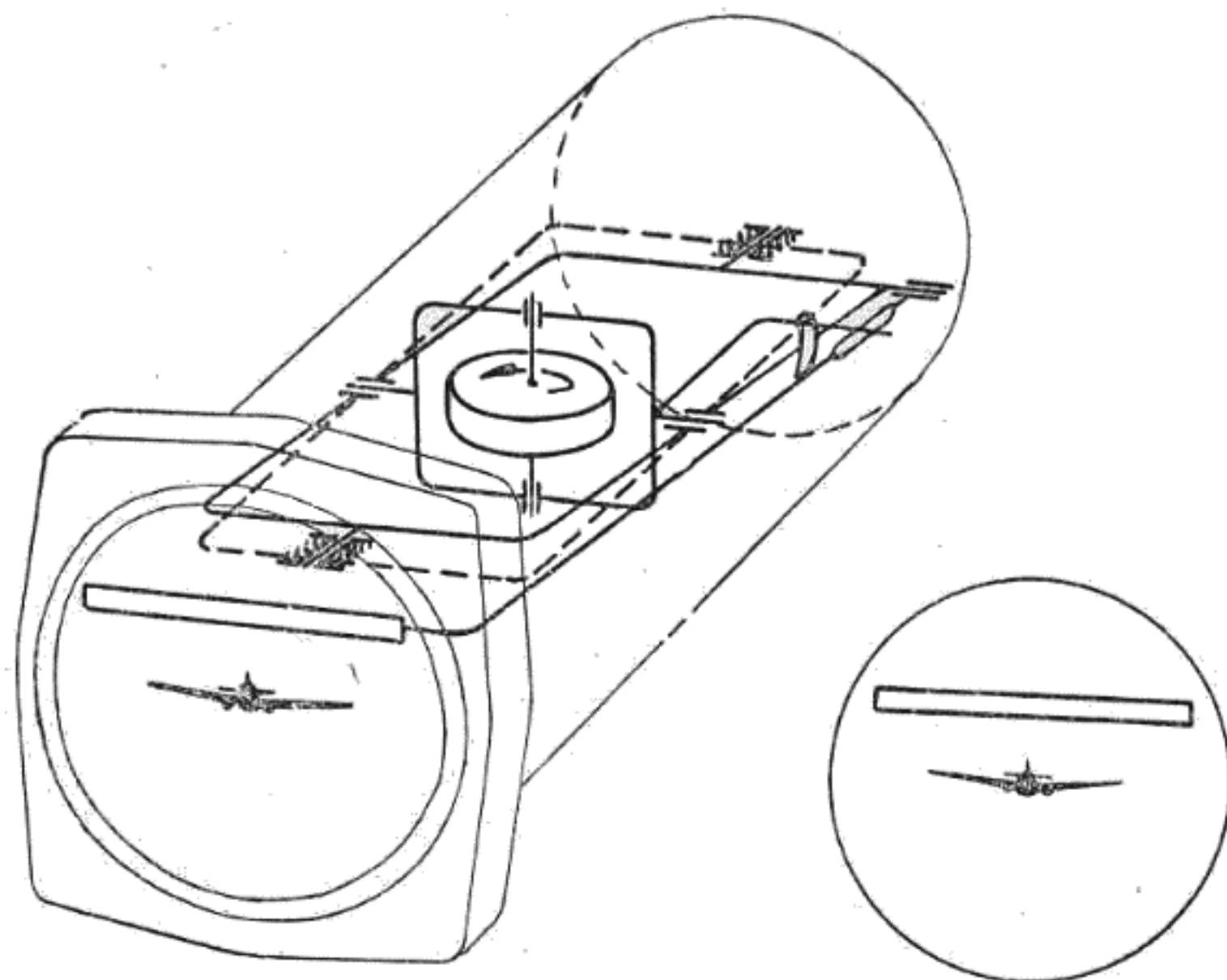
d) Přímý sestupný let

Bude-li letadlo klesat, tj. nos letadla (podélná osa letadla) směřuje o určitý úhel vzhledem k horizontální rovině dolů, zůstane stát setrvačnick i vnitřní rámeček závěsu v původní poloze (jako při horizontálním přímém letu).

Spolu s vnitřním rámečkem zůstane stát v původní poloze i rameno vnitřního rámečku. Protože podélná osa letadla směřuje pod určitým úhlem dolů, směřuje o stejný úhel dolů i osa závěsu vnějšího

šího rámečku v pouzdru přístroje. Ložisko závěsu (přední) je tedy vychýleno dolů a zadní ložisko závěsu nahoru (vzhledem k základní poloze při horizontálním přímém letu).

Protože rameno vnitřního rámečku, tedy i jeho zahnutá část, zůstalo v původní základní poloze, musí se vychýlit rameno břevna kolem zahnuté části ramene vnitřního rámečku v kulise tak, jak je



Obr. 10.6. Přímý sestupný let.

zřejmé z obrázku 10.6. Vlastní břevno, umístěné na konci ramene břevna, vychýlí se směrem nahoru, tedy nad letadélko na čelní desce přístroje.

Vzájemná poloha břevna a letadélka je zřejmá z pohledu na čelní desku přístroje za tohoto režimu letu na obrázku 10.6. Břevno (horizont) je nad letadélkem – letadlo „klesá“.

Je zřejmé, že je možno navzájem kombinovat jednotlivé situace, takže v podstatě může nastat 9 základních kombinací poloh břevna v letadélku na skle.

Způsoby pohonu setrvačníku

Pro pohon setrvačníku umělého horizontu se užívá dvou způsobů, a to pohonu pneumatického a pohonu elektrického.

	zaláčka vlevo	přímý let	zaláčka vpravo
stoupání			
let vodoravný			
klesání			

Obr. 10.7. Polohy břevna vzhledem k letadélku na skle při různých režimech letu.

a) Pneumatický pohon setrvačníku

Rotor setrvačníku je po obvodu opatřen kapsovitými vybráními, vytvářejícími jakési „lopatky“. Proti vybráním na setrvačníku je postavena jedna nebo více trysek, jimiž proudí vzduch na vybrání setrvačníku a tak jej roztáčí.

U umělých horizontů (stejně jako u ostatních setrvačnickových přístrojů s pneumatickým pohonem setrvačníku) se většinou volí systém odsávání vzduchu z pouzdra přístroje. Je totiž pohodlnější za letu získat podtlak než přetlak. Uvedený systém je volen také proto, že se tak do trysek přivádí vzduch přes filtr (sítka) z prostoru kabiny letadla a ne z okolního vzduchu, který zvláště při startu může být plný nečistot (prachu a podobně).

Z těsně uzavřeného pouzdra přístroje se odsává vzduch většinou

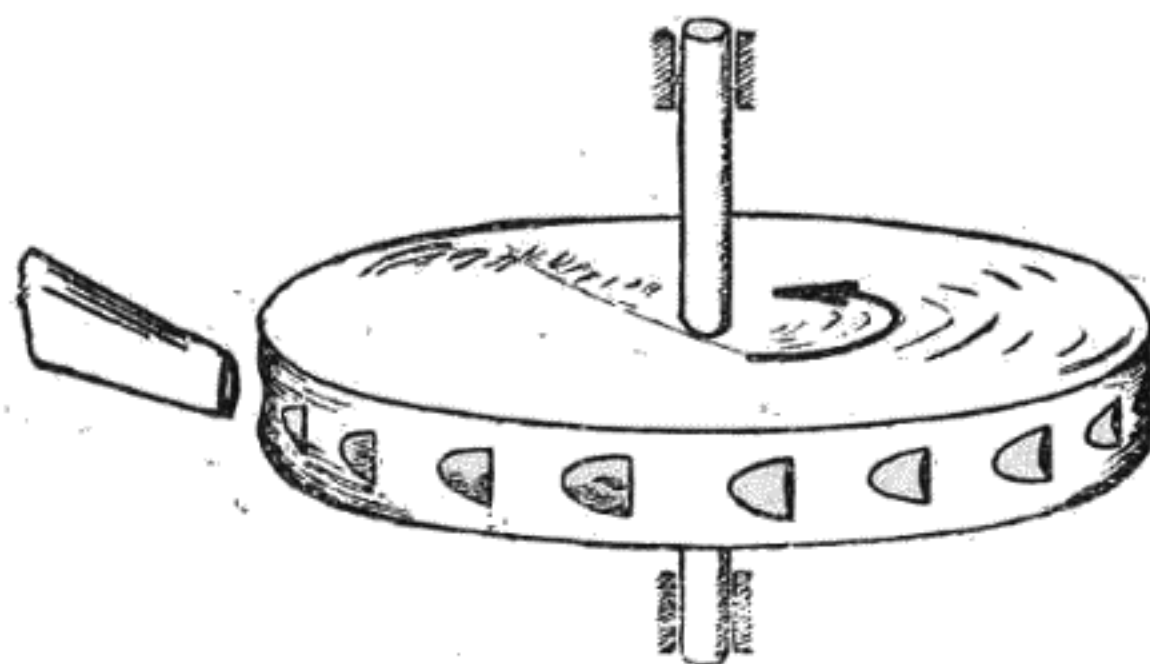
dvojitou Venturiho trubicí, kterou vidíme na obrázku 10.9 nebo vývěvou (u motorových letadel).

Potřebný podtlak pro pohon setrvačníku umělého horizontu je asi 80 mm Hg, množství odsávaného vzduchu asi $40 \div 60$ litrů za minutu.

Otáčky setrvačníku umělého horizontu, poháněného pneumaticky jsou asi $14\,000 \div 15\,000$ otáček za minutu.

b) Elektrický pohon setrvačníku

Setrvačník je vytvořen jako rotor elektrického motorku (se statorem uvnitř rotoru, aby se získal co největší moment setrvačnosti setrvačníku).



Obr. 10.8. Schéma roztáčení setrvačníku proudem vzduchu.

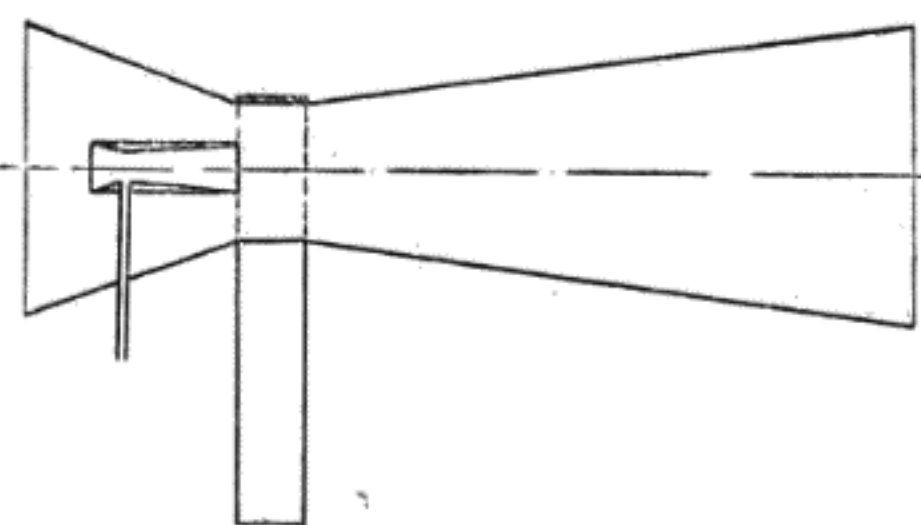
Nejčastěji se užívá asynchronního motorku, který se napájí střídavým třífázovým proudem o napětí 3×36 voltů a o frekvenci 500 c/s (v dříve užívaných německých přístrojích) nebo 400 c/s (u dnešních našich a sovětských umělých horizontů).

Počet otáček setrvačníku je asi 28 000

otáček za minutu u starších (německých) umělých horizontů a asi 23 000 otáček za minutu u nových československých a sovětských umělých horizontů.

Ačkoliv je z provozních důvodů výhodnější pro cvičné lety užívat umělých horizontů s pneumatickým pohonem setrvačníku, v dnešní době se stále více a více zavádějí a užívají umělé horizonty s elektrickým pohonem setrvačníku. Nevýhodou je nepříjemná zátěž letadla (zvláště větroně) akumulátorovou baterií a měničem (většinou rotačním měničem, který je navíc v provozu značně hlukný.)

Při užití elektrického pohonu setrvačníku ovšem odpadá dvojitá Venturiho trubice, která svým značným aerodynamickým odporem je na moderním větroni nežádoucí.



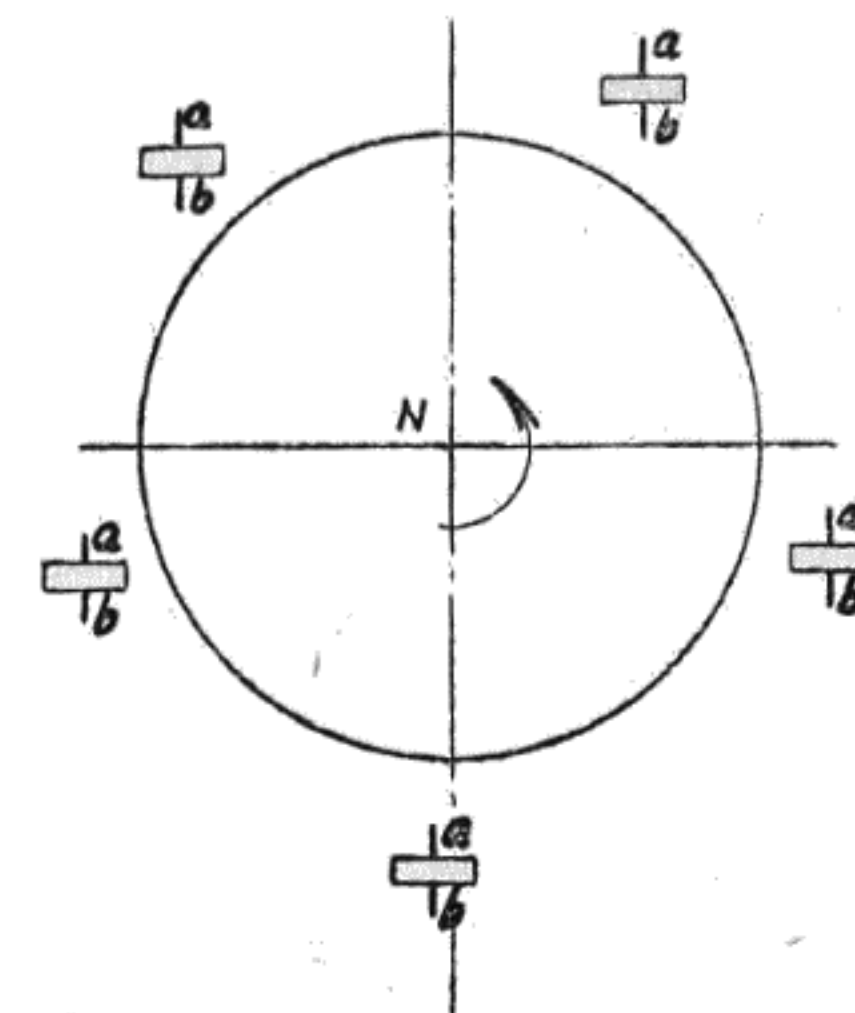
Obr. 10.9. Dvojitá Venturiho trubice.

Při užití dvojité Venturiho trubice pro pohon setrvačníku přístroje přistupuje navíc nebezpečí zamrznutí Venturiho trubice v oblasti námrazy (tedy například při letu v mraku, kde umělý horizont potřebujeme nejvíce).

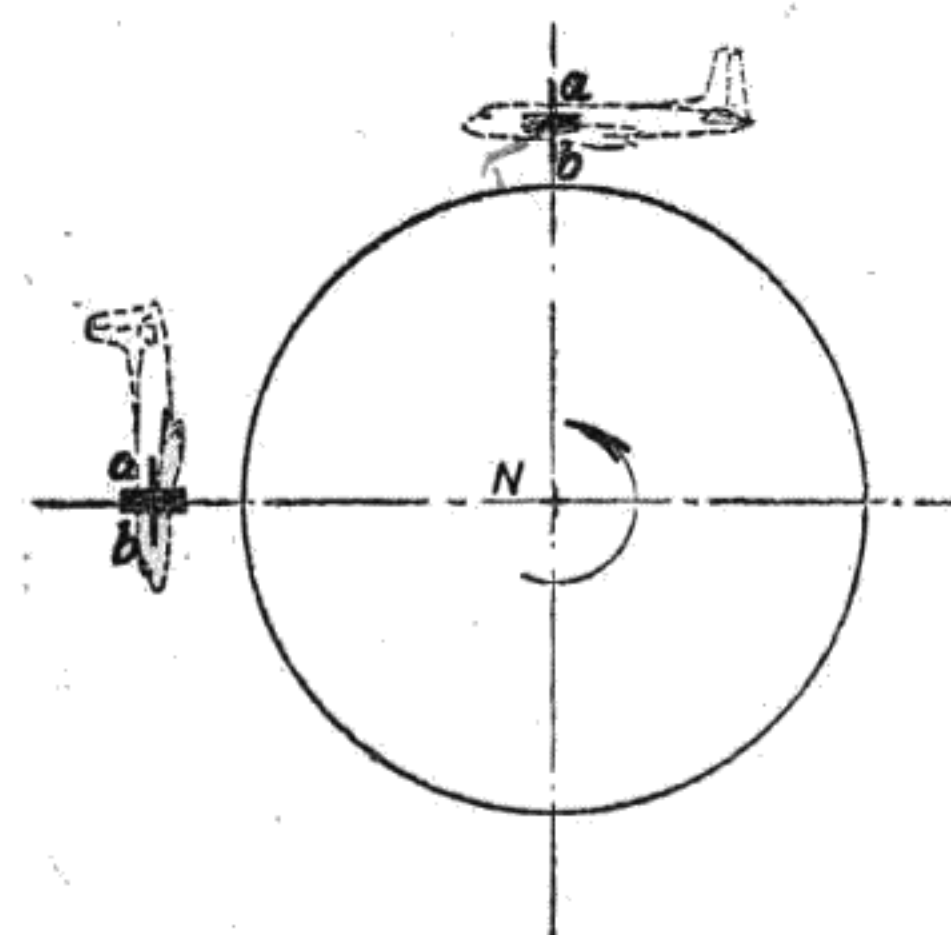
Korekční zařízení umělého horizontu

Pro správnou funkci setrvačníku umělého horizontu je nezbytné, aby osa otáčení setrvačníku ležela stále na svislici (kolmo k zemi).

Ideální setrvačník by měl ve skutečnosti zachovávat stálou polohu vzhledem ke stálým, tj. zachovávat určitou nastavenou polohu bez ohledu na to, že se Země otáčí. To znamená, že při letu kolem Země by se měnila poloha osy setrvačníku vzhledem k osám letadla, jak je zřejmé z následujícího obrázku 10.11.



Obr. 10.10. Poloha setrvačníku umělého horizontu bez korekčního zařízení vzhledem k Zemi.



Obr. 10.11. Poloha setrvačníku umělého horizontu bez korekčního zařízení při letu kolem Země.

Uvedenou vlastnost setrvačníku uchyceného v Kardanově závěsu (tři rámečky) úmyslně rušíme, protože nás zajímá poloha os letadla vzhledem k vodorovné rovině (vzhledem k horizontu) a ne poloha vzhledem ke stálým.

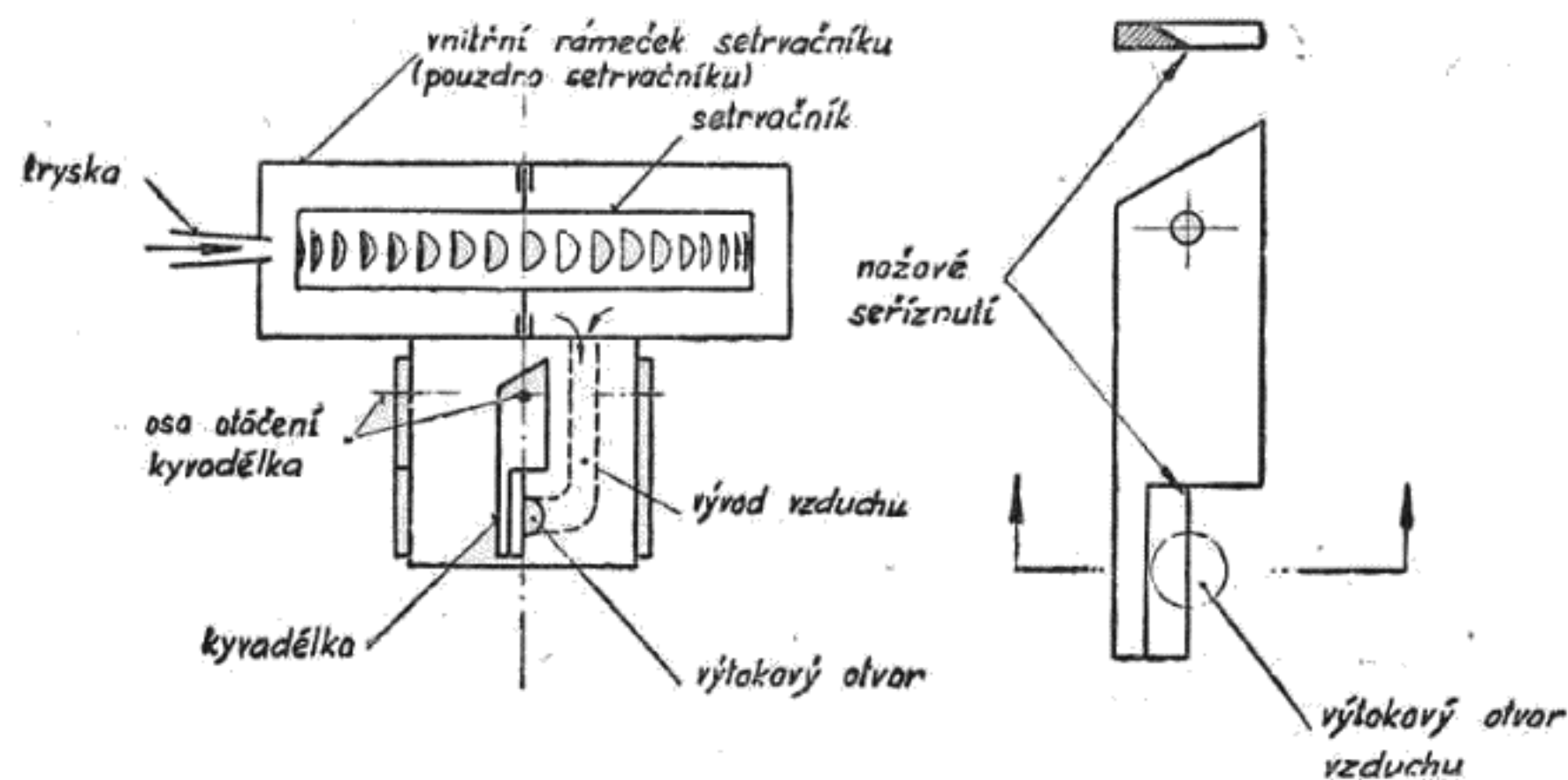
Osu setrvačníku tedy nutíme, aby zachovávala svislou polohu. Proto je v každém umělém horizontu zabudováno korekční zařízení, udržující osu setrvačníku stále ve svislé poloze.

Zatím je jedinou použitelnou veličinou pro korigování polohy osy setrvačníku do

svislé osy směr vektoru zemského tíhového zrychlení, který směřuje vždy kolmo k zemi. (Přesněji řečeno směřuje vždy ke středu Země.)

Základním elementem korekčního zařízení umělého horizontu bude tedy kyvadlo nebo libela.

Nejčastěji používanou konstrukcí korekčního zařízení je (hlavně u umělých horizontů s pneumatickým pohonem setrvačníku) systém čtyř kyvadélek, umístěných na vnitřním rámečku závěsu setrvačníku. Tvar a umístění kyvadélek vidíme na obrázku 10.12.



Obr. 10.12. Korekční zařízení umělého horizontu s kyvadélky.

Ve spodní části pouzdra setrvačníku, které tvoří vnitřní rámeček závěsu, je komora se čtyřmi výtokovými otvory, postavenými proti sobě o 90° ve vodorovné rovině. Na komoře jsou uchycena kyvadélka, jejichž tvar je zřejmý zvláště z detailního obrázku na obrázku 10.12. Kyvadélka jsou v dolní části nožově seříznuta tak, aby hrana břitu směřovala přesně do osy otáčení závěsu kyvadélka. Břity kyvadélek zakrývají v základní poloze vždy polovinu jednotlivých výtokových otvorů komory, do kterých přichází vzduch z pouzdra setrvačníku (kam byl vzduch přiveden tryskou, směřující proti kapsovitému vybrání setrvačníku).

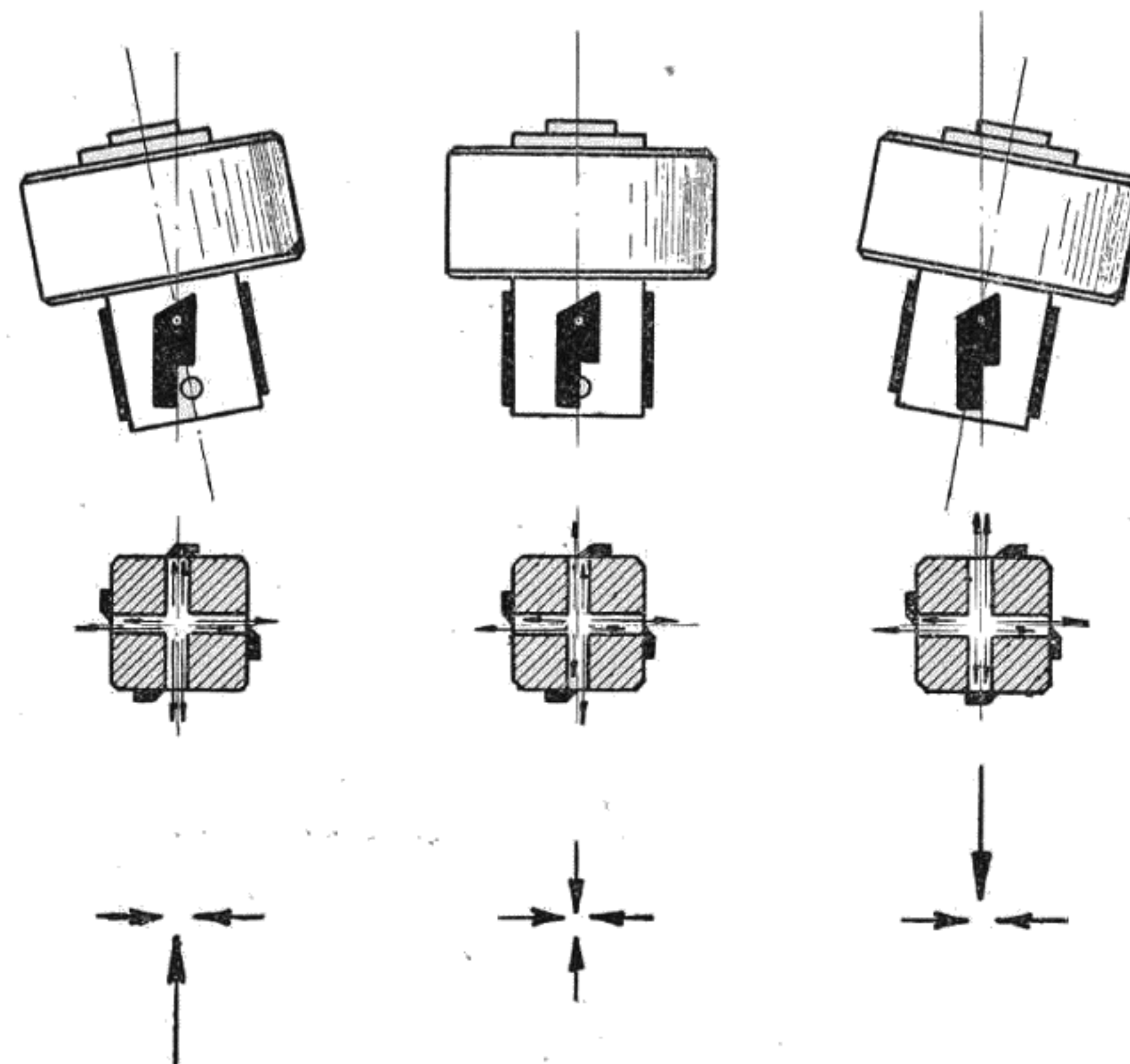
Vlastní funkci korekčního zařízení si vysvětlíme na příkladech.

a) Osa setrvačníku je přesně ve svislé poloze

Je-li osa setrvačníku přesně ve svislé poloze, jsou všechna kyvadélka v základní poloze, kdy zakrývají vždy polovinu výtokových otvorů. Reakce vytékajícího vzduchu z výtokových otvorů komory jsou u všech čtyř otvorů stejné (všechny čtyři otvory jsou kyvadélky za-

kryty právě do poloviny), reakce se tedy ruší a setrvačník není nikam vychylován, ale zůstává nadále ve svislé poloze (jeho osa otáčení je i nadále na svislici). Tento případ znázorňuje střední obrázek v obrázku 10.13.

Obrázek 10.13 uvádí nahoře pohled na pouzdro setrvačníku s komorou kyvadélek, dole potom půdorysný pohled na řez komorou

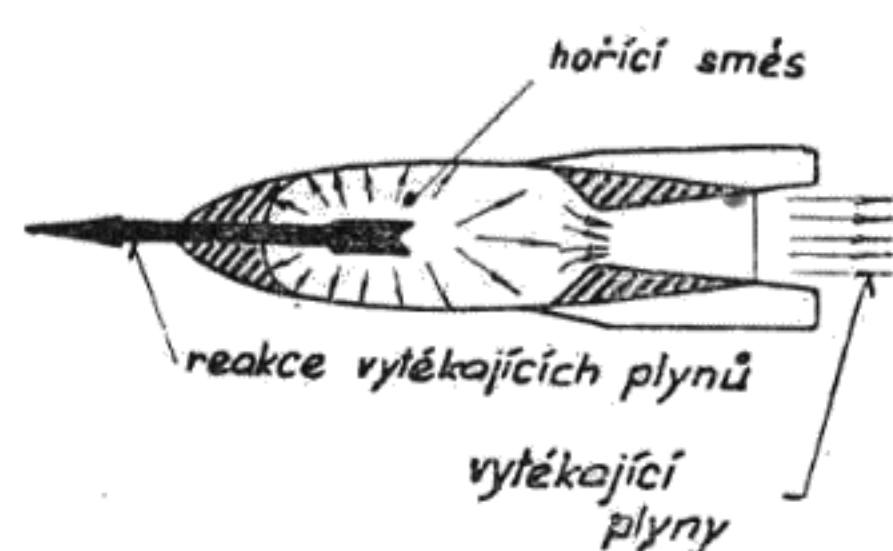


Obr. 10.13. Činnost korekčního zařízení s kyvadélky.

kyvadélek na polohu všech čtyř kyvadélek vzhledem k výtokovým otvorům a zároveň vektorové znázornění všech čtyř reakcí proudu vzduchu, vytékajícího z výtokových otvorů kolem břitů kyvadélek. V našem případě a) ve střední části obrázku vidíme, že reakce jsou všechny stejné, tedy vždy dvě a dvě protilehlé se ruší.

b) Osa setrvačníku je skloněna vlevo

Levý obrázek 10.13 znázorňuje případ, kdy došlo k vychýlení osy setrvačníku ze svislé polohy vlevo (například vlivem tření v ložiskách setrvačníku, vlivem špatného vyvážení rámečku setrvačníku nebo vlivem odchýlení výslednice zrychlení působících na letadlo od svislice).



Obr. 10.14. Vznik tahu (reakční síly) u raketového motoru.

Z levého obrázku vidíme, že přední kyvadélko vlivem toho, že zaujímá stále svislou polohu, úplně odkrylo přední výtokový otvor, zatím co zadní výtokový otvor je zadním kyvadélkem úplně zakryt. Je to ještě zřejmější z půdorysného pohledu, kde zároveň vidíme, že poloha bočních kyvadélek se nezměnila a tyto zakrývají výtokové otvory jen z poloviny. Z vektorového znázornění reakcí vytékajícího proudu vzduchu vidíme, že nastala nerovnováha ve směru zepředu dozadu, že vektor reakce předního výtokového otvoru se značně zvětšil, zatímco vektor zadního výtokového otvoru je nulový.

Vznik reakcí (reakčních sil) si můžeme přirovnat ke vzniku tahu raketového motoru, jak si připomeneme z obrázku 10.14.

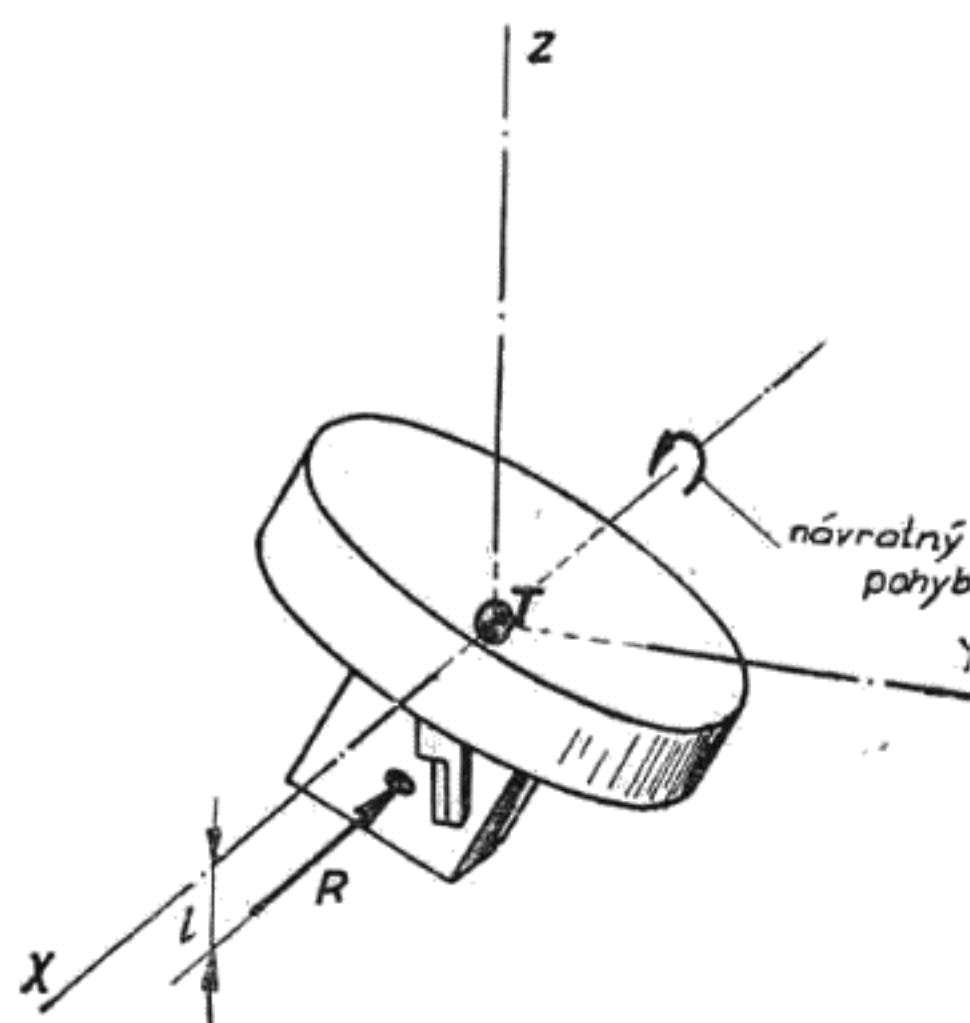
Reakce vytékajících plynů z trysky směřuje proti směru plynů, vytékajících z trysky motoru.

Stejným způsobem vzniká i reakce vytékajícího vzduchu u jednotlivých výtokových otvorů korekčního zařízení.

Reakce bočních otvorů zůstávají stejné, protože boční otvory jsou oba odkryty do poloviny, a reakce se tedy ruší.

Reakce předního otvoru působí vzhledem k těžišti setrvačníku určitým momentem, daným součinem reakce R a vzdálenosti jejího půso-

nebo vlivem odchýlení výslednice zrychlení působících na letadlo od svislice). Z levého obrázku vidíme, že přední kyvadélko vlivem toho, že zaujímá stále svislou polohu, úplně odkrylo přední výtokový otvor, zatím co zadní výtokový otvor je zadním kyvadélkem úplně zakryt. Je to ještě zřejmější z půdorysného pohledu, kde zároveň vidíme, že poloha bočních kyvadélek se nezměnila a tyto



Obr. 10.15. Návrat osy setrvačníku do svislé polohy vlivem precesního pohybu.

biště od těžiště setrvačníku (měřeno ve svislém směru) 1. Vlivem působení tohoto momentu počne se setrvačník natáčet kolem osy X zpět do základní polohy. Tomuto návratnému pohybu říkáme precesní pohyb (při působení momentu kolem osy Y se setrvačník natáčí kolem osy X). Pojem precesního pohybu setrvačníku jsme si probrali v kapitole 9. o zatáčkoměrech.

Vlivem precesního pohybu se tedy setrvačník vrátí do základní polohy, kdy jeho osa je svislá. Po dosažení této polohy přestane korekční zařízení působit, protože všechny otvory korekčního zařízení jsou bříty kyvadélkem stejně odkryty, tedy reakce se ruší (nastane případ a).

c) Osa setrvačníku je skloněna vpravo

Vychýlí-li se osa setrvačníku ze svislé polohy vpravo, odkryje se úplně zadní výtokový otvor a úplně zakryje přední výtokový otvor (zadní výtokový otvor je více odkryt než přední otvor – úplné zakrytí a odkrytí otvorů si uvádíme jen pro snadnější pochopení funkce korekčního zařízení!).

Reakce proudu ze zadního výtokového otvoru je dvojnásobná než při normální poloze setrvačníku (máme na mysli úplné zakrytí předního výtokového otvoru a úplné odkrytí zadního výtokového otvoru) a způsobí precesní pohyb setrvačníku, kterým je poloha osy setrvačníku vracena do svislé polohy. Tento případ znázorňuje pravá část obrázku 10.13.

Je samozřejmé, že může dojít k odchýlení osy setrvačníku od svislice v libovolném směru. (Odchýlení osy setrvačníku vpravo nebo vlevo, nebo odchýlení osy setrvačníku dopředu nebo dozadu, nebo kombinovaný případ mezi těmito základními.) V každém případě se setrvačník vlivem precesního pohybu, způsobeného rozdílem reakcí vytékajícího vzduchu z výtokových otvorů korekčního zařízení vrátí zpět do základní polohy, kdy je osa setrvačníku svislá.

Kromě korekčního zařízení se čtyřmi kyvadélky se užívá korekčních zařízení se rtuťovými libelami, s elektrolytickými libelami, jakož i řady zcela speciálních druhů korekčního zařízení. Účel všech typů korekčního zařízení však zůstává stejný, jako u zařízení s kyvadélky.

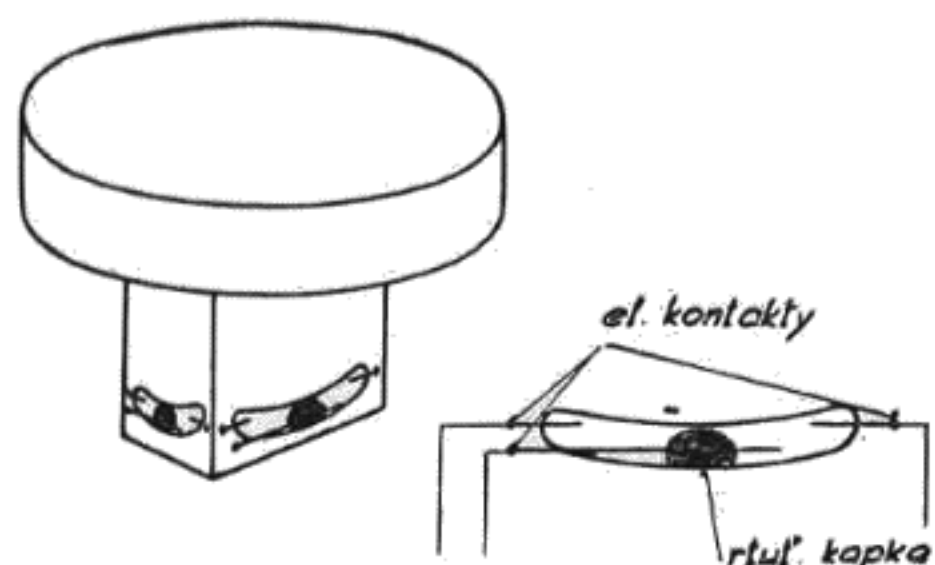
Dalším typem korekčního zařízení je užití rtuťových libel. Tohoto typu se užívá u umělých horizontů s elektrickým pohonem setrvačníku.

Schéma korekčního zařízení je zřejmé z obrázku 10.16.

Ve skříni pod setrvačníkem na pouzdru setrvačníku, tvořeném vnitřním rámečkem závěsu setrvačníku, jsou umístěny dvě rtuťové libely ve dvou na sebe kolmých směrech. Detailní pohled na rtuťovou libelu (odborně zvanou „prasátko“) je v detailním obrázku v obrázku 10.16.

Funkce rtuťové libely je velmi jednoduchá.

Jestliže dojde k vychýlení osy setrvačníku od svislice, přeje se kapka rtuti do některé z krajních poloh a sepne tak elektrický kontakt, čímž se spustí elektromotorek, který natočí setrvačnick zpět do základní polohy.



Obr. 10.16. Korekční zařízení umělého horizontu se rtuťovými libelami.

Protože rtuťové libely jsou dvě, v rovinách kolmo na sebe, může se takto korigovat jakákoliv výchylka setrvačníku z původní polohy, protože každá libela zapíná jeden ze dvou natáčecích motorků.

Korekční zařízení někdy užívá elektrolytické libely, umístěné ve spodní části pouzdra setrvačníku, které je tvořeno vnitřním rámečkem.

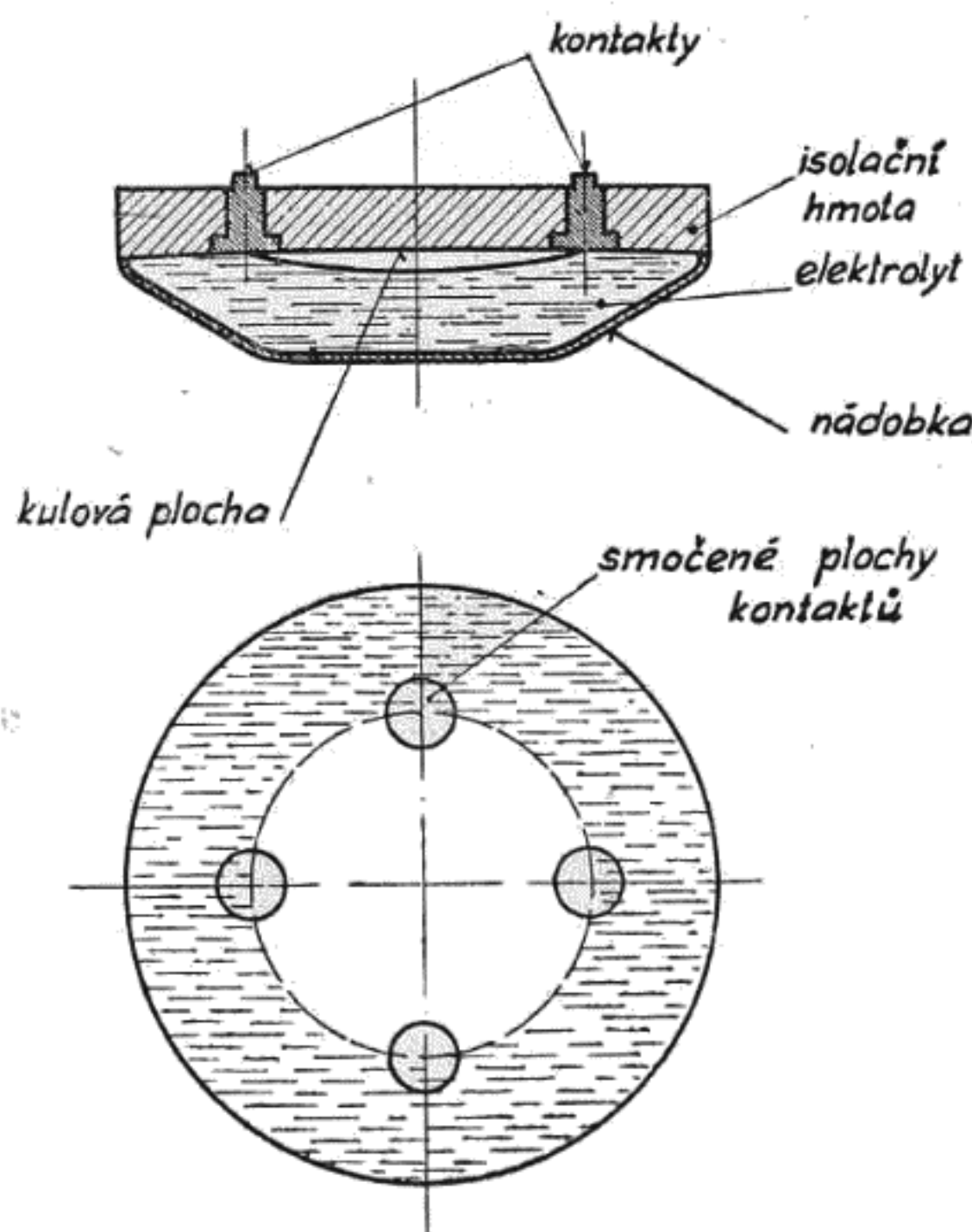
Schéma korekčního zařízení s elektrolytickou libelou je na obrázku 10.17.

V izolačním pouzdru jsou uchyceny čtyři elektrické kontakty, kterých se dotýká hladina elektrolytu na kulové ploše. Osy kontaktů jsou rovnoběžné s podélnou a příčnou osou letadla. (Osou kontaktů myslíme spojnicí dotykových bodů geometrických os kontaktů s hladinou elektrolytu při základní poloze setrvačníku přístroje.)

Dojde-li k vychýlení osy setrvačníku ze svislé polohy v některém směru, změní se poloha hladiny elektrolytu vzhledem ke kontaktům, čímž nastane nerovnováha ve smočené ploše protilehlých kontaktů a tím je dán impuls natáčecím elektromotorkům, které vrátí setrvačnick do základní polohy.

Nutno si uvědomit činnost korekčního zařízení umělého horizontu, zamontovaného ve větroni.

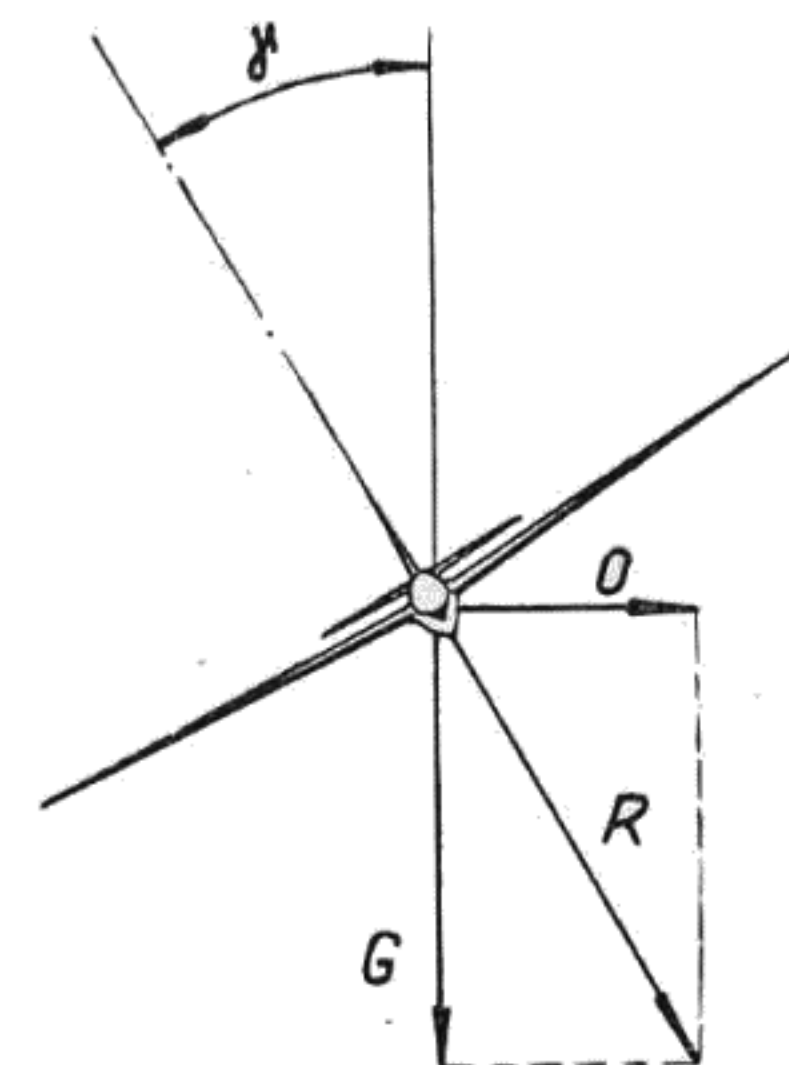
Řekli jsme si, že činnost korekčního zařízení, ať kyvadélek, rtuťové nebo elektrolytické libely, je založena na principu užití



Obr. 10.17. Korekční zařízení umělého horizontu s elektrolytickou libelou.

zemské tíže. Jinak řečeno, korekční zařízení umělého horizontu reaguje na směr vektoru zemského tíhového zrychlení. To však předpokládá, že letadlo poletí velkou většinu letového času v horizontálním ustáleném letu, kdy jediným zrychlením, působícím na letadlo, je zrychlení tíže zemské. Tak je tomu u motorových letadel (nejde-li samozřejmě o speciální případy letu). Větroň naproti tomu značnou část letu krouží, zvláště při letu v mracích, kdy se vlastně umělého horizontu převážně užívá. Za tohoto režimu letu ovšem nepůsobí na letadlo již jen zrychlení tíže zemské, nýbrž navíc ještě zrychlení, vzniklé z pohybu letadla po zakřivené dráze (v zatáčce).

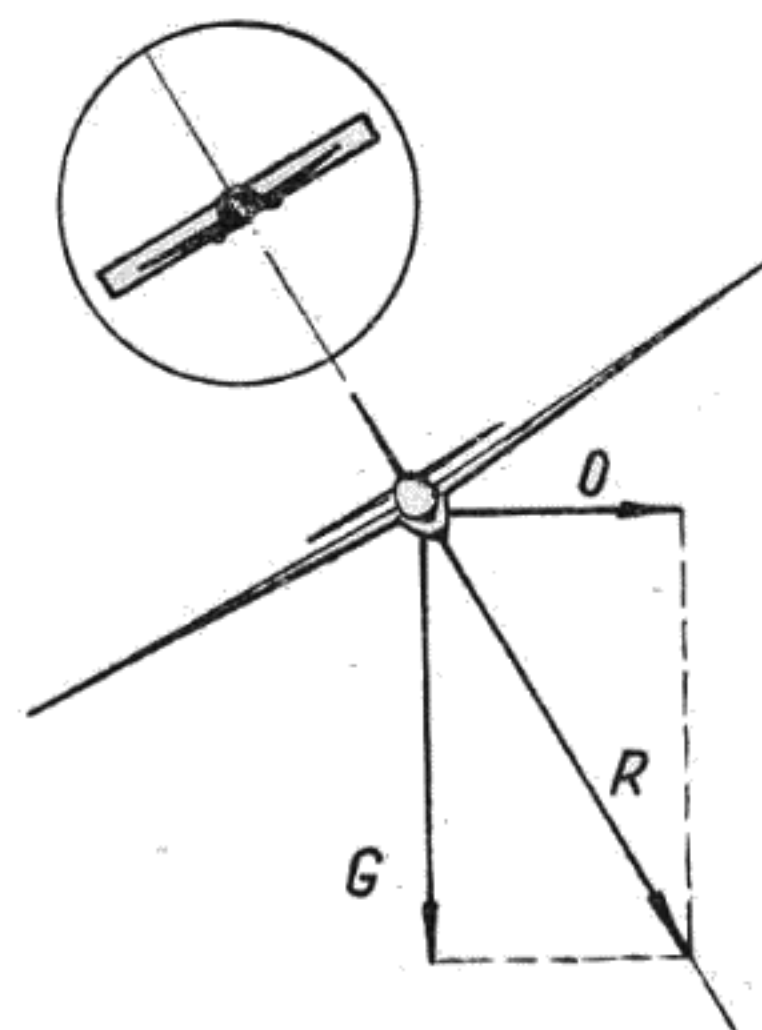
V zatáčce působí na letadlo, jak jsme si již v dřívějších kapitolách řekli, kromě váhy letadla ještě odstředivá síla. Váha letadla a odstředivá síla se skládají ve výslednici, která ve správné zatáčce směřuje ve směru kolmé osy letadla, ovšem



Obr. 10.18. Síly působící na letadlo v zatáčce.

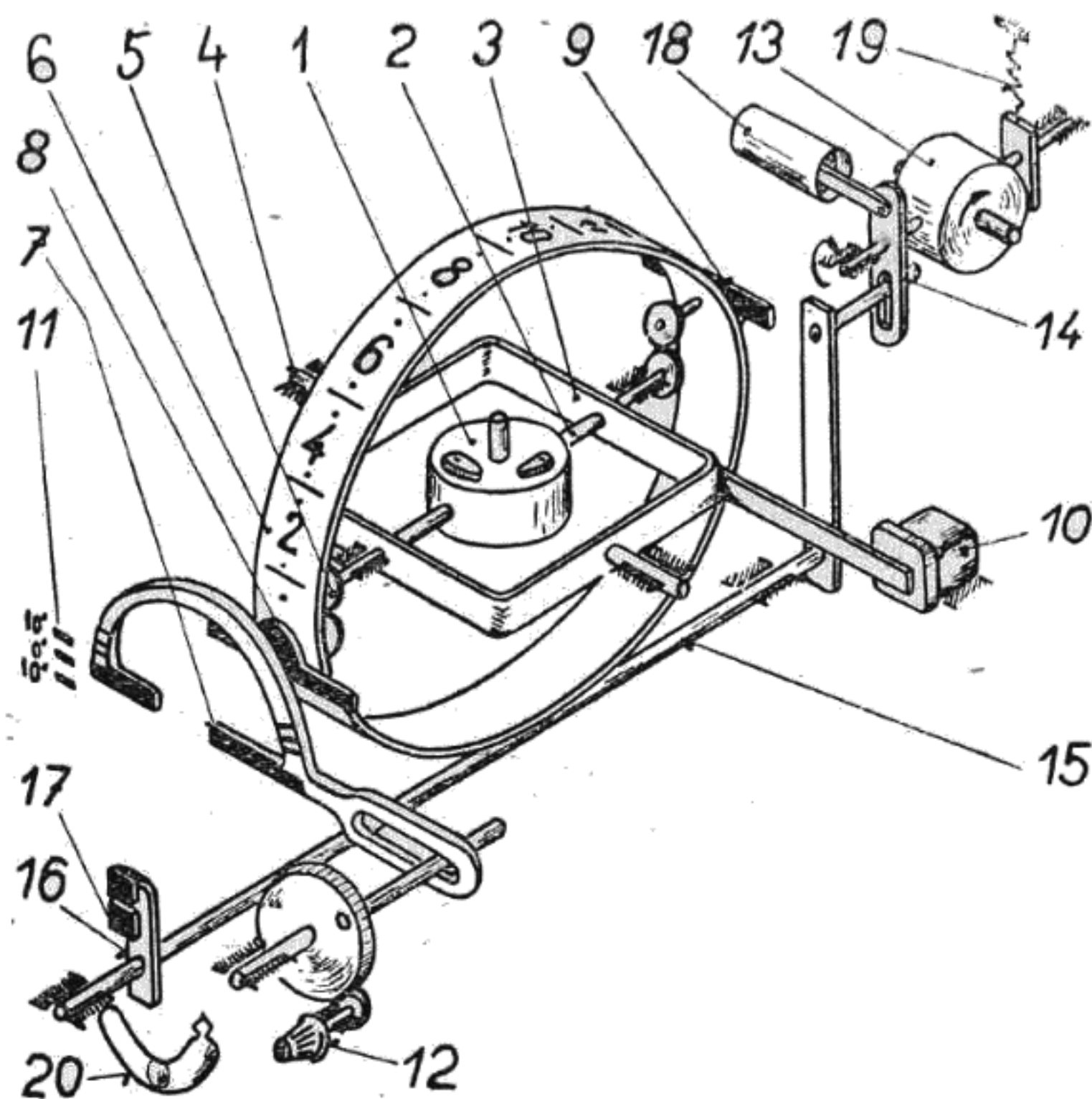
vzhledem k zemi (horizontální rovině) je tato výslednice skloněna o určitý úhel γ , jak vidíme z obrázku 10.18.

Tento obrázek známe již z kapitoly o relativních sklonoměrech. Výsledné zrychlení směřuje ve směru výslednice R (která je od svislice odkloněna o úhel γ). Na směr výslednice reaguje korekční zařízení (například kyvadélka) umělého horizontu. Poletíme-li tedy delší dobu v ustáleném kroužení, způsobí korekční zařízení „narovnání“ osy setrvačníku do směru výslednice R, tedy do směru kolmé osy letadla (letíme správnou zatáčkou). Břevno umělého horizontu se nastaví do základní polohy a údaj přístroje je stejný jako za přímého letu.



Obr. 10.19. Údaj umělého horizontu po delším ustáleném kroužení.

Vidíme tedy, že ačkoli jsme vybaveni umělým horizontem, nemůžeme bezpečně delší dobu kroužit jedním směrem (například vlevo nebo vpravo), protože působením korekčního zařízení se břevno „vrací“ do základní polohy, jako bychom zmenšovali náklon zatáčky (kroužení) a přecházeli pozvolna do přímého letu.



Obr. 10.20. Schéma umělého horizontu AGK - 47 A.

1 - vnitřní rámeček, 2 - osa otáčení vnitřního rámečku, 3 - vnější rámeček, 4 - ložisko pouzdra přístroje pro otáčení vnějšího rámečku, 5 - převod, měnící smysl pohybu letadélka vzhledem k břevnu, 6 - prstenec se stupnicí podélného sklonu, 7 - břevno, 8 - letadélko, 9 - letadélko pro let na zádech, 10 - aretační elektromagnet, 11 - stupnice příčného sklonu, 12 - knoflík pro nastavování základní polohy břevna, 13 - setrvačnický zatačkoměr, 14 - převod, 15 - hřídelka, 16 - ručička zatačkoměru, 17 - pevná značka, 18 - tlumič válček, 19 - směrová pružina, 20 - příčný relativní sklonoměr.

Z praxe je známo, že tento zjev nastává po době kroužení jedním směrem asi 5 minut. Jednou z možností, jak zamezit této „činnosti“ umělého horizontu je změna směru kroužení po každých asi 5 minutách.

U některých moderních umělých horizontů je možno korekční zařízení v zatáčce vypnout, čímž popsaná „chyba“ odpadá.

Z popisu funkce umělého horizontu si již sami odvodíme, že přístroj musíme spouštět a odaretovat (odjistit rámečky) vždy v ustáleném přímém letu. Doba rozběhu setrvačnicku na správné provozní otáčky je asi 3–5 (někdy až 10) minut. Při rozbíhání setrvačnicku musí být přístroj aretován. Není-li přístroj při rozběhu setrvačnicku aretován, může dojít k poškození závěsů setrvačnicku nebo rámečků, protože poloha setrvačnicku v klidu volného (nearetovaného) přístroje může být libovolná a jeho osa tedy značně odchýlena od svislice. Vlivem toho se při rozbíhání setrvačnicku jeho prudkým „zabráním“ může poškodit některý ze závěsů.

Popíšeme si nyní umělý horizont AGK-47A.

Jeho schéma je na obrázku 10.20.

Tento typ umělého horizontu se vyznačuje tím, že dovoluje pohyb kolem příčné osy plných 360°.

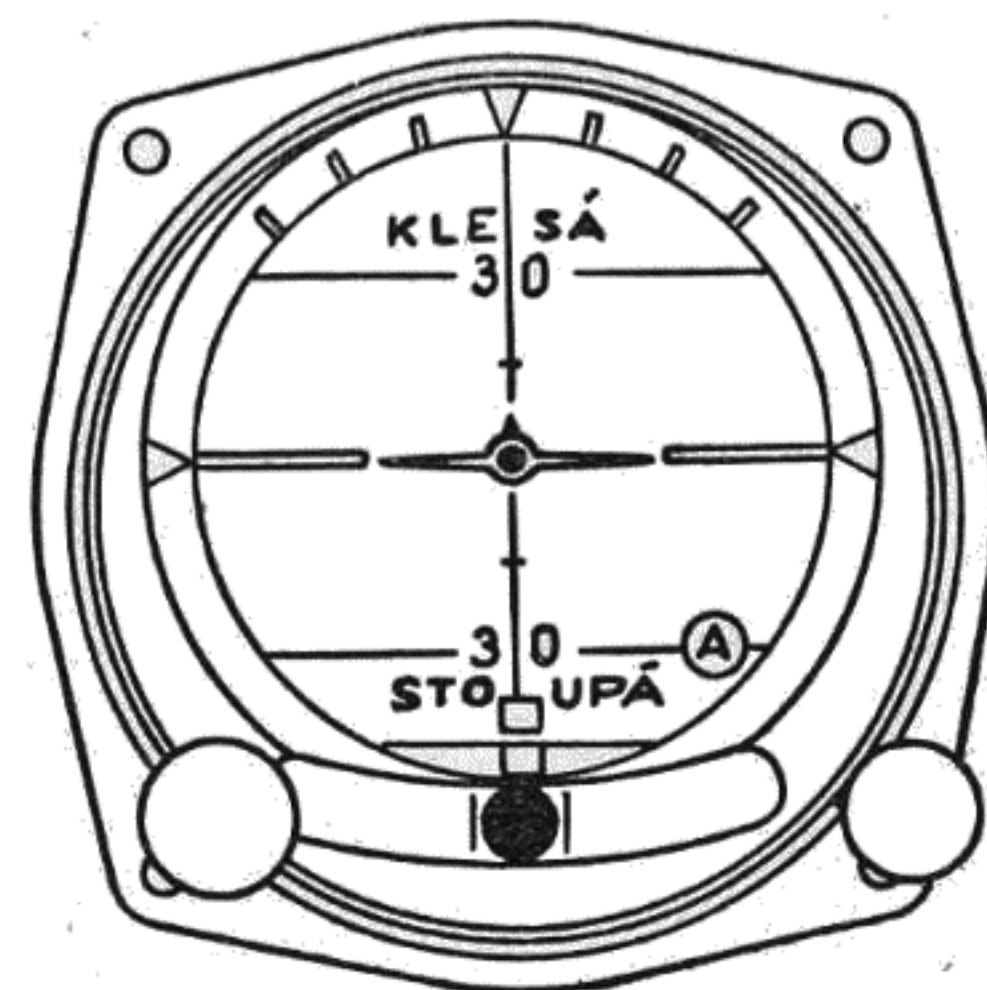
Vnitřní rámeček závěsu 1, tvořící pouzdro setrvačnicku, otáčí se kolem osy 2 v ložiskách vnějšího rámečku 3. Vnější rámeček závěsu se může otáčet o celých 360° kolem ložisek pouzdra přístroje 4. Na vnějším rámečku je uchycen přes převod 5, kterým je převrácen smysl natáčení vnějšího rámečku, prstenec se stupnicí 6 pro odečítání podélného sklonu. Podélný sklon odečítáme proti břevnu 7, které je pevně spojeno s letadlem. Na prstenci je v místě nuly stupnice uchyceno letadélko 8, jehož poloha vzhledem k břevnu 7 udává polohu letadla vzhledem k horizontu. Na opačné straně prstence je druhé letadélko 9, které slouží k určení polohy letadla při letu na zádech. 10 je elektromagnet, kterým se (po stisknutí aretačního tlačítka v obrázku nezakresleného) aretuje poloha vnějšího rámečku závěsu setrvačnicku.

Při změně podélného sklonu letadla zůstává stát (stejně jako jsme si popsali při vysvětlování funkce umělého horizontu již dříve) celý systém závěsu (vnitřní i vnější rámeček s prstencem a letadélkem) a pohybuje se břevno, které je pevně spojeno s letadlem. (U tohoto typu umělého horizontu je břevno pevné a pohybuje se letadélko na rozdíl od umělého horizontu, který jsme si v této kapitole dříve popsali.)

Proti břevnu můžeme na stupnici prstence 6 odečíst přímo úhel podélného sklonu letadla.

Při náklonu letadla zůstane opět stát setrvačnick i s vnitřním rámečkem a natočí se pouze vnější rámeček kolem osy 2. Tím se změní poloha letadélka proti břevnu a na stupnici 11 můžeme odečíst úhel příčného sklonu.

Knoflíkem 12 si můžeme (přes převod) nastavit základní polohu břevna vzhle-



Obr. 10.21. Čelní deska československého umělého horizontu LUN 1202.

dem k letadélku pro případ, že přístroj je na palubní desce namontován šikmo. Přístroj AGK-47A je doplněn zatáčkoměrem v zadní části přístroje. Výchylka setrvačnicku (při určité rychlosti otáčení letadla kolem kolmé osy) 13 se přenáší přes převod 14 a hřídelkou 15 na ručičku 16. Polohu ručičky odečítáme proti pevné značce 17. 18 je tlumicí váleček, 19 směrová pružina.

Přístroj také doplňuje příčný relativní sklonoměr 20.

Na obrázku 10.21 je pohled na čelní desku československého umělého horizontu LUN 1202.

Velikou předností tohoto typu přístroje je, že jeho pohyb kolem příčné i podélné osy je neomezený (rozsah podélného sklonu je 360° a příčného sklonu rovněž celých 360°).

Nezvyklý je u tohoto typu opačný vzájemný pohyb letadélka a břevna (proti skutečnému pohybu letadla vzhledem k horizontu) při klesání nebo stoupání letadla.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Absolutní sklonoměry, umělé horizonty, slouží nám pro kontrolu polohy letadla za letu bez viditelnosti země.

Základním elementem přístroje je setrvačnický se svislou osou otáčení, uložený v Kardanově závěsu, který má tu vlastnost, že zachovává stále stejnou polohu.

Přístrojem zjišťujeme vlastně polohu setrvačnicku (břevna) vzhledem k letadlu (reprezentovanému letadélkem, namalovaným na čelním skle přístroje). Poloha letadélka vzhledem k břevnu udává přímo polohu letadla vzhledem k vodorovné rovině (skutečnému horizontu).

Setrvačnický je poháněn buď pneumaticky nebo elektricky. Aby setrvačnický zachovával stále základní polohu, kdy je osa otáčení setrvačnicku svislá, je přístroj vybaven korekčním zařízením. Korekční zařízení tvoří buď čtyři kyvadélka nebo rtuťová, případně elektrolytická libela.

Při déletrvajícím ustálené zatáčce „nastaví“ korekční zařízení základní polohu setrvačnicku do směru výslednice všech zrychlení, působících na letadlo, tedy ve směru kolmé osy letadla.

Při pohybu letadla po zemi a při prudkých obrazech musí být přístroj aretován. Přístroj se spouští a odaretovává jen v ustáleném horizontálním letu.

Kontrolní otázky

1. K čemu nám slouží absolutní sklonoměry (umělé horizonty)?
2. Co je základním elementem umělého horizontu?
3. V kolika rámečcích je setrvačnický umělého horizontu uložen a jak je položena jeho osa otáčení?
4. Jaké základní vlastnosti setrvačnicku se u umělých horizontů využívá?
5. Popište funkci umělého horizontu při klesání a stoupání letadla!
6. Popište funkci umělého horizontu při náklonu letadla, nebo v zatáčce!
7. Nakreslete charakteristické údaje přístroje!
8. Jakého druhu pohonu setrvačnicku se užívá?
9. Proč musí být umělý horizont vybaven korekčním zařízením?
10. Popište funkci korekčního zařízení se čtyřmi kyvadélky!
11. Jak funguje korekční zařízení při delším ustáleném kroužení?
12. Kdy musí být přístroj aretován?
13. Kdy umělý horizont spouštíme a odaretováváme?
14. Jakou výhodu má československý umělý horizont LUN 1202 proti ostatním umělým horizontům?

11. KOMPASY

Nejdůležitějším navigačním přístrojem je kompas, kterým určujeme kurs letu, tj. úhel mezi magnetickým nebo zeměpisným poledníkem a podélnou osou letadla (opravený případně o deviace, jak si vysvětlíme dále).

Nejrozšířenějším typem jsou kompasy magnetické, které využívají magnetického pole Země.

Dalšími typy jsou kompasy setrvačnickové, které se podobají směrovým setrvačnickům, ale kterých se v letectví pro jejich velikou váhu a zkreslený údaj vlivem měnicího se výsledného zrychlení neužívá; dále kompasy sluneční (svým principem podobné slunečním hodinám), užívané například při letech ve větších zeměpisných šířkách, tj. blízko pólů, kde je již vodorovná složka zemského magnetického pole velmi malá a údaj magnetického kompasu značně nepřesný.

Ve větroních se užívá jen magnetických kompasů.

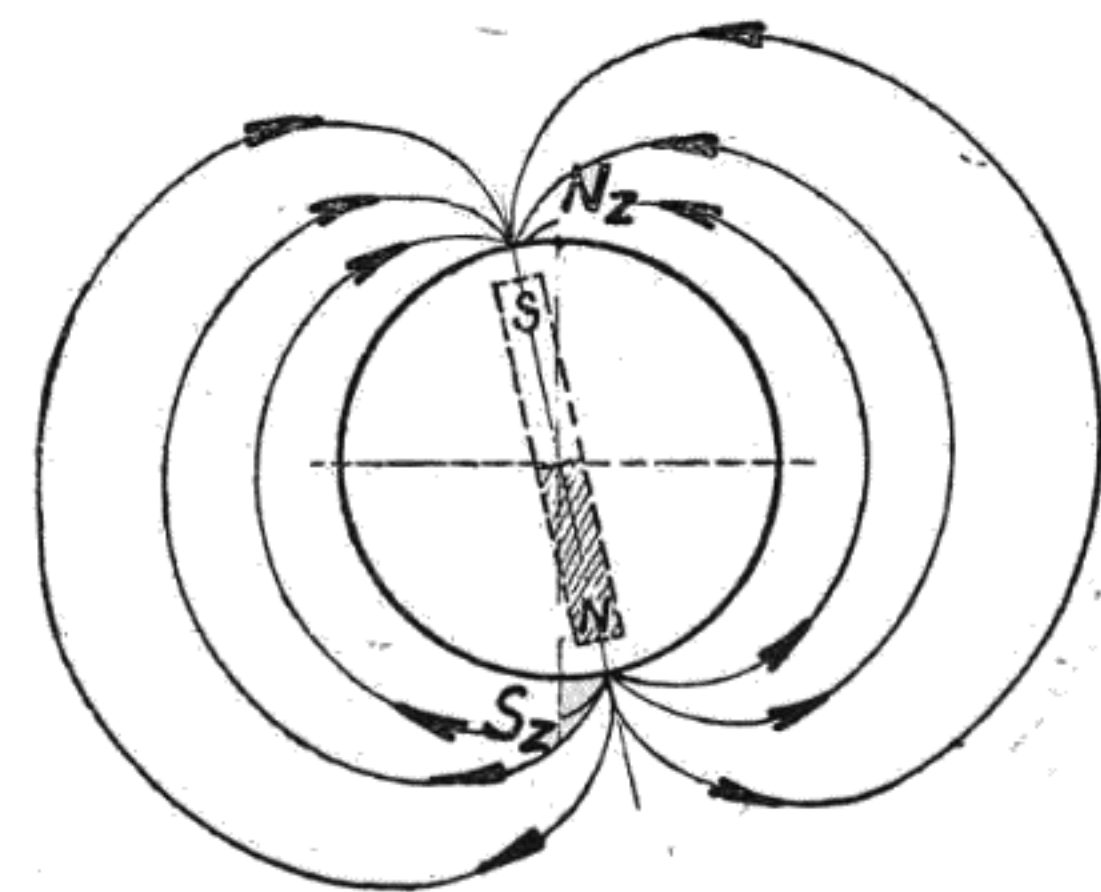
Máme-li pochopit funkci magnetického kompasu, musíme si říci něco o magnetickém poli Země.

Zemi si představujeme jako velký permanentní magnet (permanentní = stálý) se dvěma magnetickými póly. Magnetické póly Země neleží v místech pólů zeměpisných, jak vidíme z obrázku 11.1, nýbrž jsou posunuty a svou polohu dokonce stále mění.

Nyní leží severní magnetický pól na 70° severní zeměpisné šířky a 95° západní zeměpisné délky; jižní magnetický pól na $72,5^\circ$ jižní zeměpisné šířky a 154° východní zeměpisné délky.

Pro úplnost si zopakujeme pojem zeměpisné délky a zeměpisné šířky.

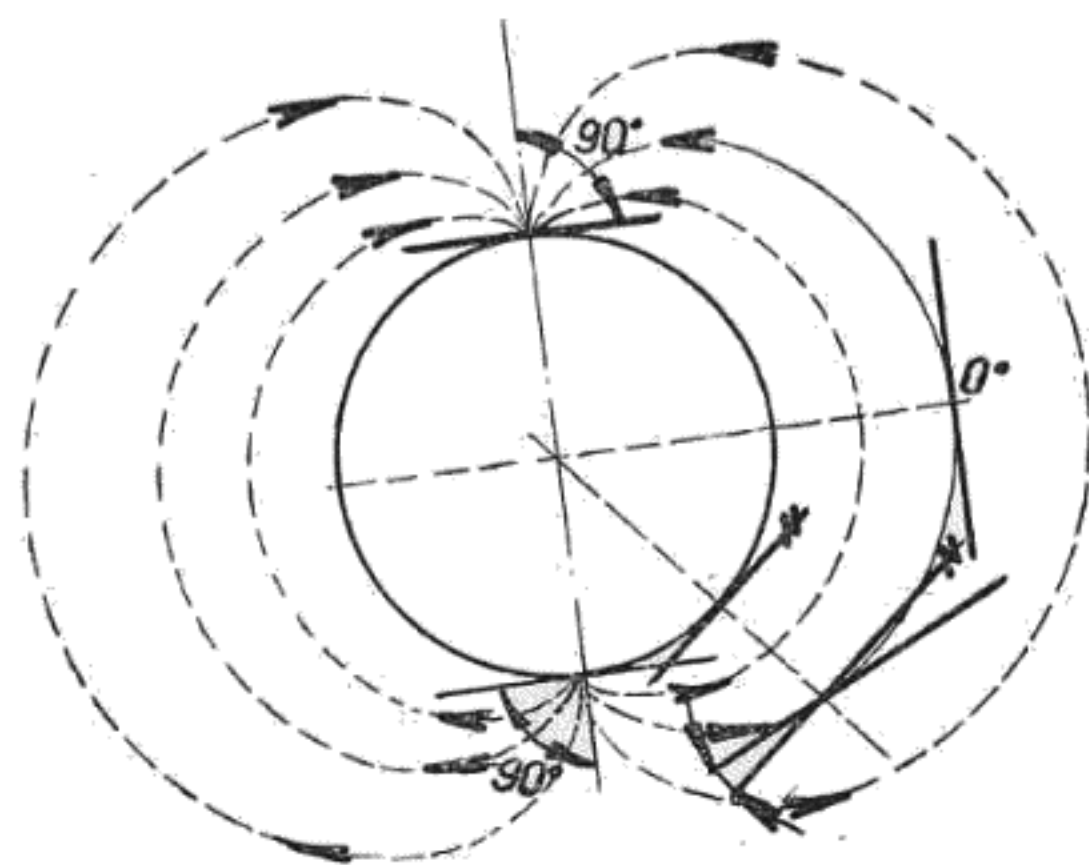
Zeměpisná délka je úhel, který svírá spojnice středu Země a uvažovaného místa



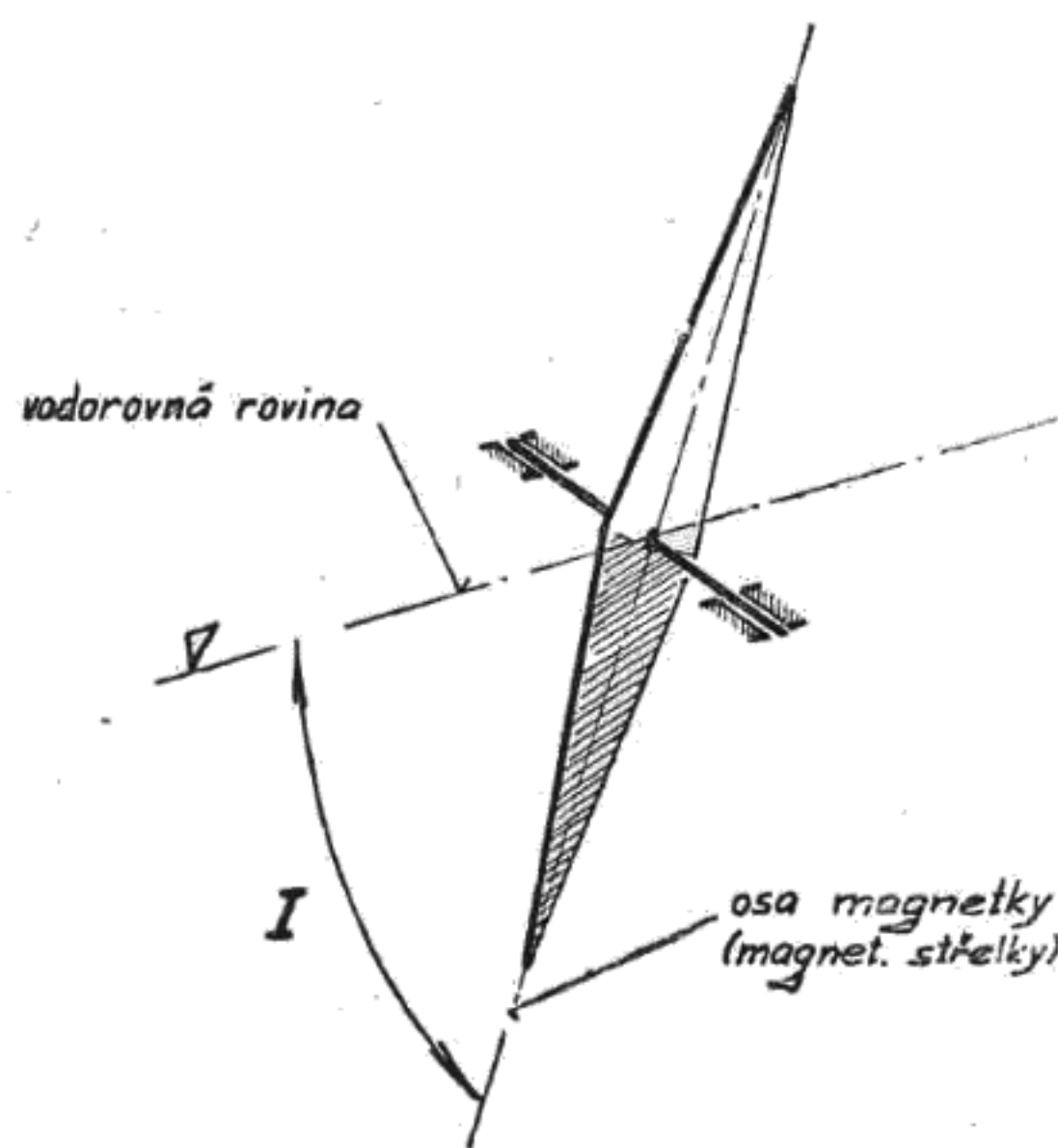
Obr. 11.1. Magnetické póly Země neleží v místech zeměpisných pólů.

se spojnici středu Země s místem na nultém (greenwichském) poledníku, ležícím na stejné rovnoběžce, jako uvažované místo. Pro uvažovaná místa západně od nultého poledníku je zeměpisná délka západní, pro místa na východ od nultého poledníku je zeměpisná délka východní.

Zeměpisná šířka je úhel, který svírá spojnice uvažovaného místa se středem Země se spojnici středu Země a místem na rovníku, ležícím na stejném poledníku.



Obr. 11.2. Průběh magnetických silokřivek nad povrchem Země.



Obr. 11.3. Inklinace.

Pro uvažovaná místa, ležící na sever od rovníku je zeměpisná šířka severní, pro uvažovaná místa, ležící na jih od rovníku je zeměpisná šířka jižní.

Pro jednoznačné zapamatování základního rozdílu mezi zeměpisnou délkou a zeměpisnou šířkou si vždy představíme protáhlý tvar naší republiky, protože zeměpisná délka se měří ve směru její délky (od západu na východ) a zeměpisná šířka se měří ve směru její šířky (od jihu na sever).

V obrázku 11.1 a v celé této kapitole budeme užívat pro sever označení N (N_z = sever zeměpisný), pro jih označení S (S_z = jih zeměpisný).

Všimneme si, že magnetické siločáry svírají se zemským povrchem (s vodorovnou rovinou pro určité místo) v místech různé zeměpisné šířky různý úhel.

Z obrázku 11.2 vidíme, že tento úhel je na magnetickém rovníku 0° a čím více postupujeme k pólům, tím se úhel zvětšuje, až na magnetickém pólu je 90° .

Budeme-li mít magnetickou strelku, která

má vodorovnou osu otáčení, a budeme s ní postupovat od magnetického rovníku k magnetickému pólu, bude se úhel její osy s vodorovnou rovinou měnit od 0° do 90° . Tomuto úhlu říkáme inklinace a označujeme ho I .

Na obrázku 11.4 vidíme polohu inklinanční magnetky (magnetka s vodorovnou osou otáčení) pro různé zeměpisné šířky. Vidíme, že pro magnetický rovník, kde je zeměpisná šířka téměř nulová (zcela nulová není proto, že magnetické souřadnice nesouhlasí se zeměpisnými souřadnicemi Země, jak jsme si již řekli) je inklinace $I = 0^\circ$, pro místo na magnetickém pólu je inklinace $I = 90^\circ$. Pro místa směrem od rovníku k magnetickému pólu se postupně inklinace zvětšuje z $I = 0^\circ$ na $I = 90^\circ$. Pro Prahu, která leží přibližně na 50° severní zeměpisné šířky, je inklinace $I_P = 65^\circ$!

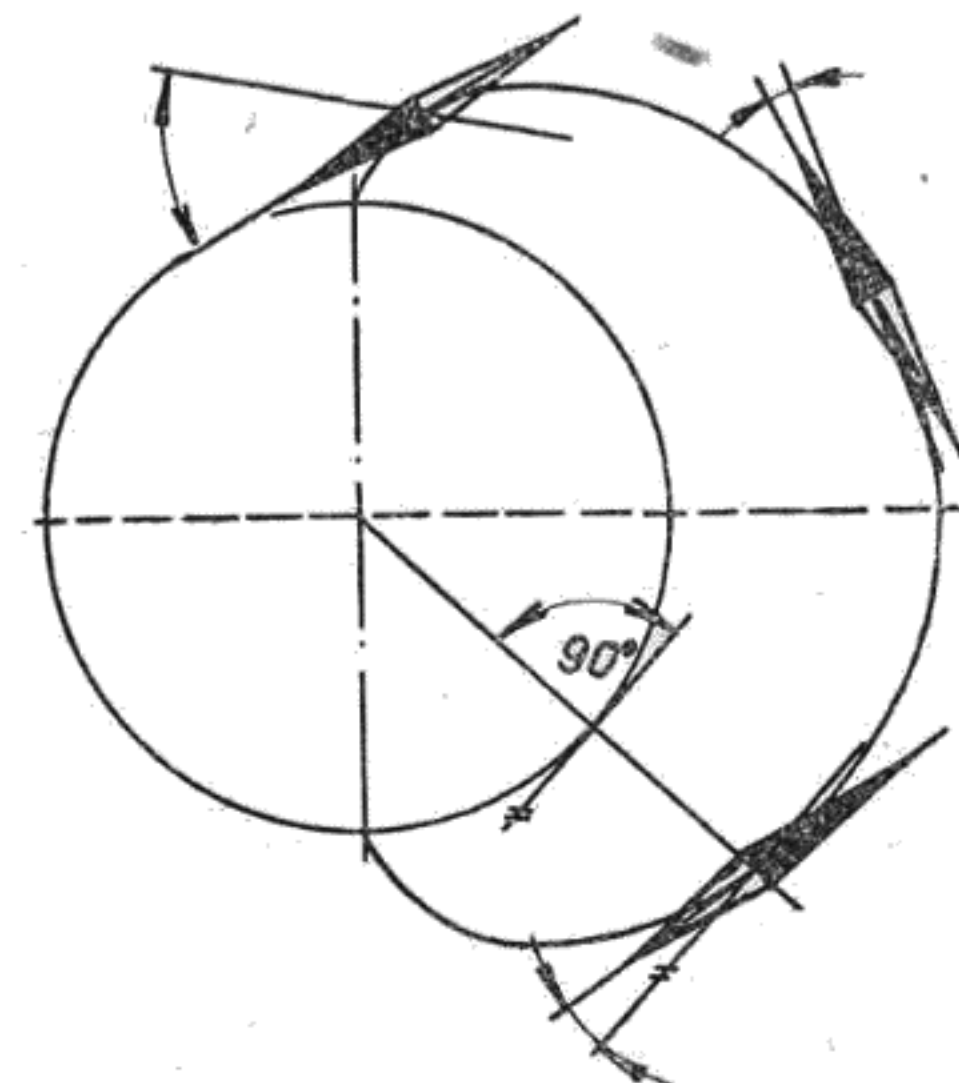
Magnetka kompasu má však svislou osu otáčení. Je nasazena na hrotu, takže vlivem inklinace by se sklonil její „severní“ konec (pro severní polokouli) dolů o příslušný inklinanční úhel. Pro Prahu by se severní konec magnetky sklonil o úhel $I_P = 65^\circ$, jak vidíme z obrázku 11.5.

Protože pro odečítání údaje kompasu potřebujeme mít magnetku vodorovně, musíme přidat na její „jižní“ konec závažíčko. Velikost závažíčka musíme ovšem volit pro každou zeměpisnou šířku jinou. Budeme-li kompasu užívat v blízkosti rovníku, bude závažíčko malé, budeme-li kompasu používat v blízkosti severního pólu, bude závažíčko větší.

Pro užití na jižní polokouli bude ovšem závažíčko na severním konci magnetky!

Závažíčko způsobí, že magnetka bude stát vodorovně, jak vidíme ze spodního obrázku na obrázku 11.5.

Připojení závažíčka má však za následek značné zkreslování údaje magnetického kompasu při zrychlovaném a zpomalovaném letu a při zatáčkách, jak si podrobněji probereme později.

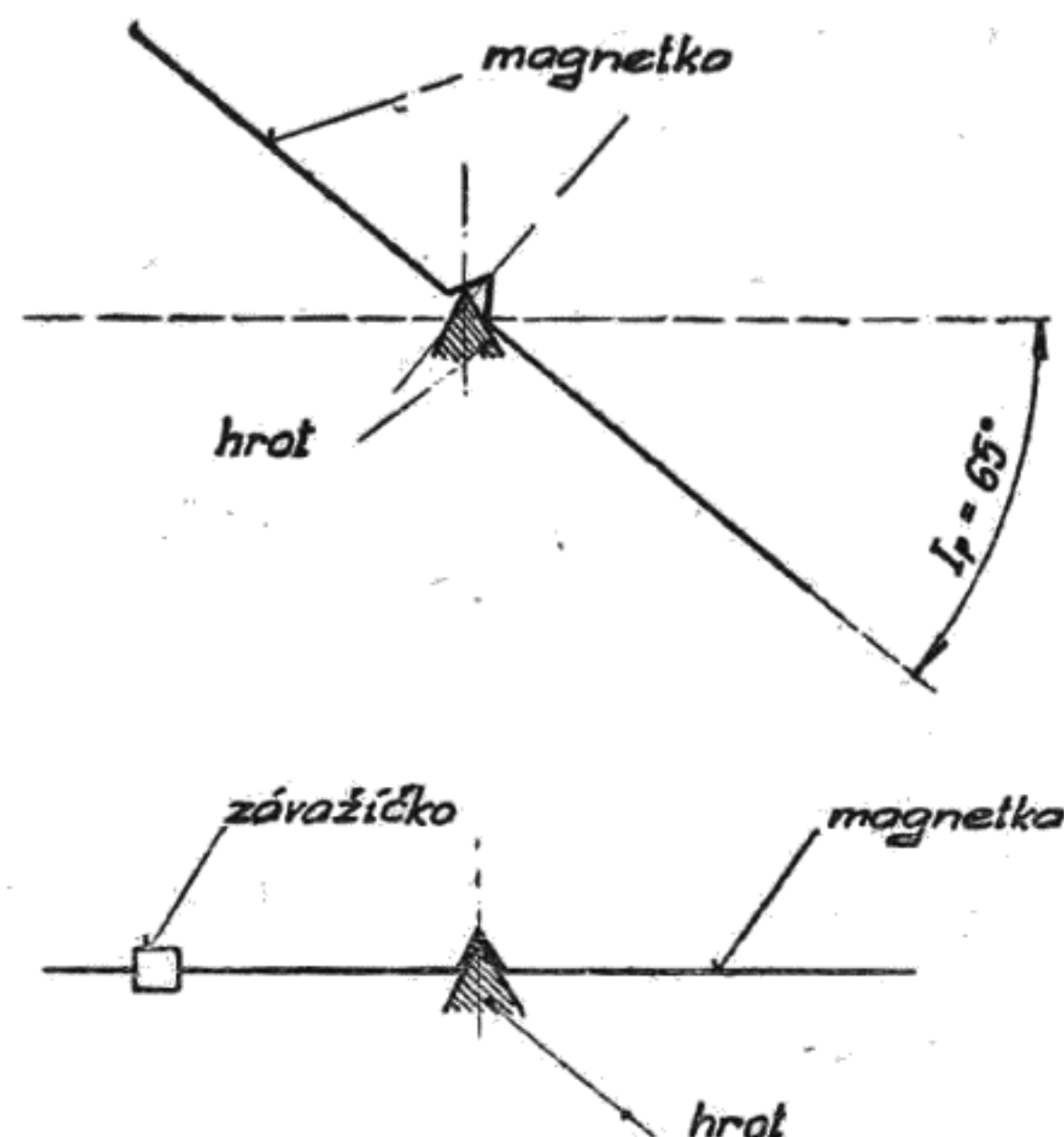


Obr. 11.4. Velikost inklinace pro různé zeměpisné šířky.

Protože další výklad se týká již přímo užití magnetického kompasu, popíšeme si nyní jeho konstrukci.

Konstrukce magnetického kompasu

V pouzdru přístroje 1, které je vyplněno tlumicí kapalinou (látka blízká petroleji), je na hrotu 2 nasazen nosič dvou magnetek 3 a kompasové růžice 4. V zadní části pouzdra přístroje jsou tlakoměrné kra-



Obr. 11.5. Vyloučení vlivu inklinace závažíčkem na magnetce.

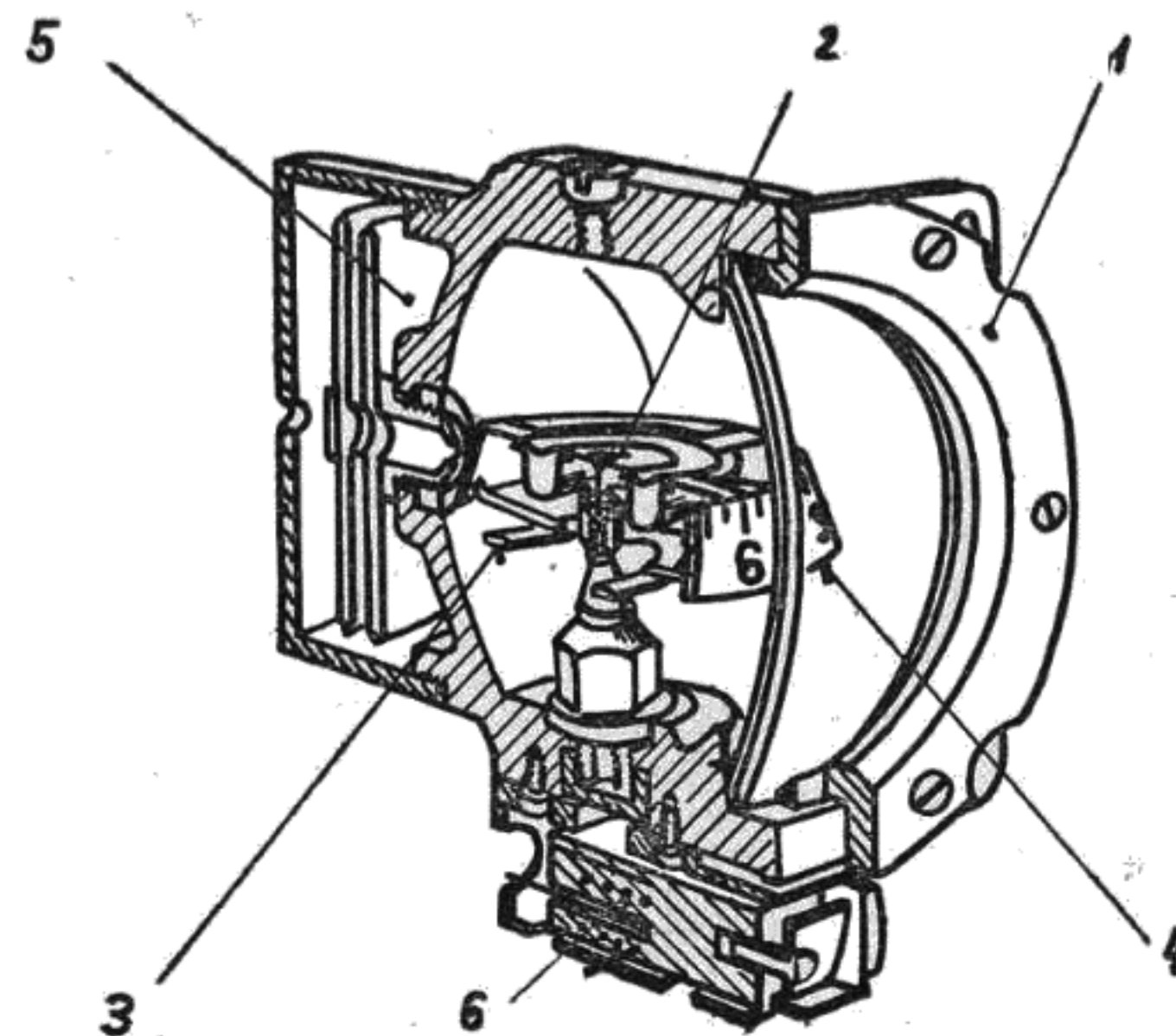
bice 5, které slouží jako pružná přepážka pro vyrovnání změn objemu tlumicí kapaliny vlivem změn teploty a vyrovnávání změn tlaku okolního vzduchu. Ve spodní části pouzdra přístroje je zasunuta krabice s kompenzačními jehlami 6. V krabici je několik otvorů ze strany a několik otvorů zezadu. Do otvorů skládáme malé jehlové magnety, kterými vyrovnáváme deviace kompasu, jak si probereme v této kapitole.

Magnetická růžice je vlastně plechový proužek, stočený do kuželového prstence, uchycený na nosiči magnetek 3. Na prstenci jsou vyznačeny dílky magnetické růžice. Dělení stupnice je po 5°, číslování dílků po 30°.

Zopakujeme si hodnoty magnetické růžice.

Sever (označený *N*), jih (označený *S*), východ (označený *E*), západ (označený *W*).

Označení hlavních směrů kompasové růžice je určeno mezinárodně a vzniklo z anglických názvů těchto směrů: *N* = Nord (sever), *S* = South (jih), *E* = East (východ), *W* = West (západ).



Obr. 11.6. Řez magnetickým kompasem.

1 – pouzdro přístroje, 2 – hrot závěsu, 3 – nosič magnetek, 4 – kompasová růžice, 5 – vyrovnávací tlakoměrná krabice, 6 – krabice s kompenzačními jehlami.

Celá magnetická růžice je rozdělena na 360°. Pro hlavní směry tedy bude odpovídat vždy určitá hodnota magnetické růžice, vyjádřená ve stupních.

$N = 0^\circ$ nebo 360° , $E = 90^\circ$, $S = 180^\circ$, $W = 270^\circ$.

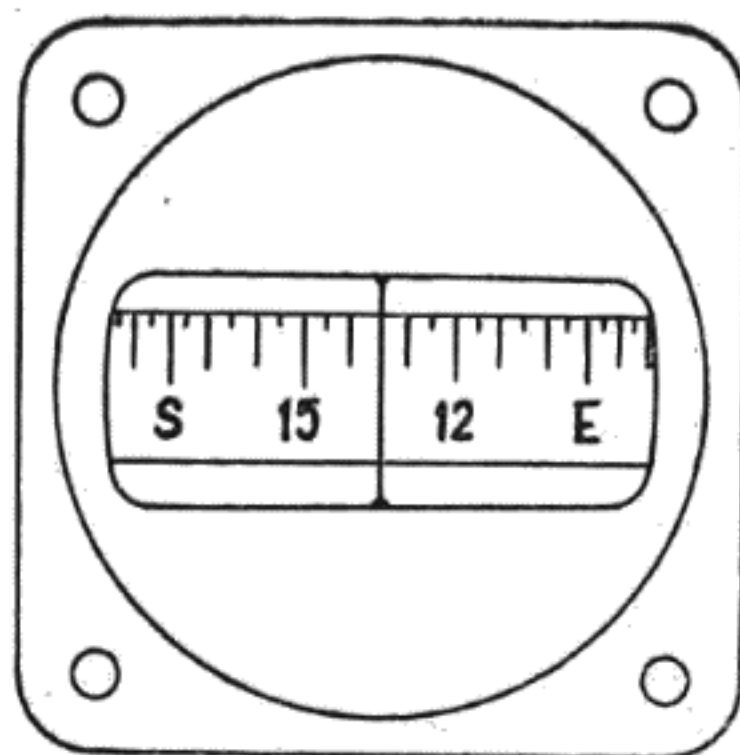
Pro jednodušší čtení údaje se na kompasové růžici vyznačené směry neudávají celým číslem, nýbrž číslem desetkrát menším, například 120° se označuje číslem 12, 330° se označuje číslem 33 atd.

Pro přehled a zopakování sestavme si hodnoty magnetické růžice do tabulky.

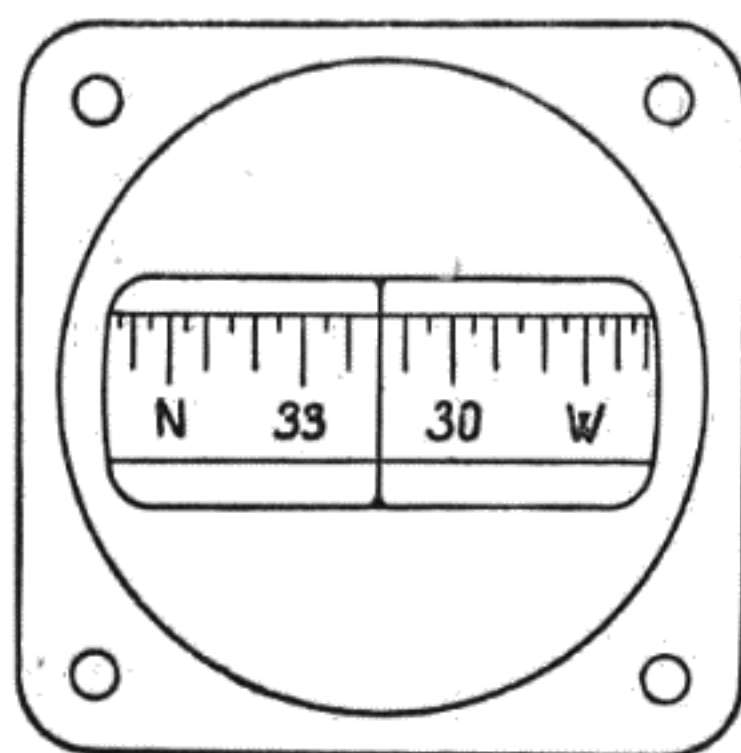
Kurs (°)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Označení na růžici	N	3	6	E	12	15	S	21	24	W	30	33	N

Na čelní stěně přístroje je krycí sklo, kterým vidíme část kompasové růžice a proti rysce na skle odečítáme hodnoty magnetické růžice – kurs letadla.

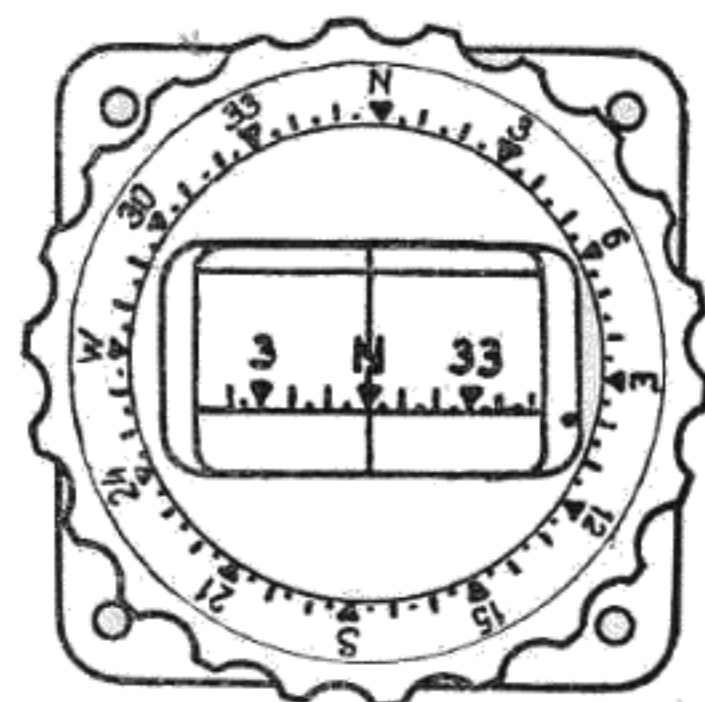
Čteme-li například proti rysce hodnotu 135° víme, že v tom oka-



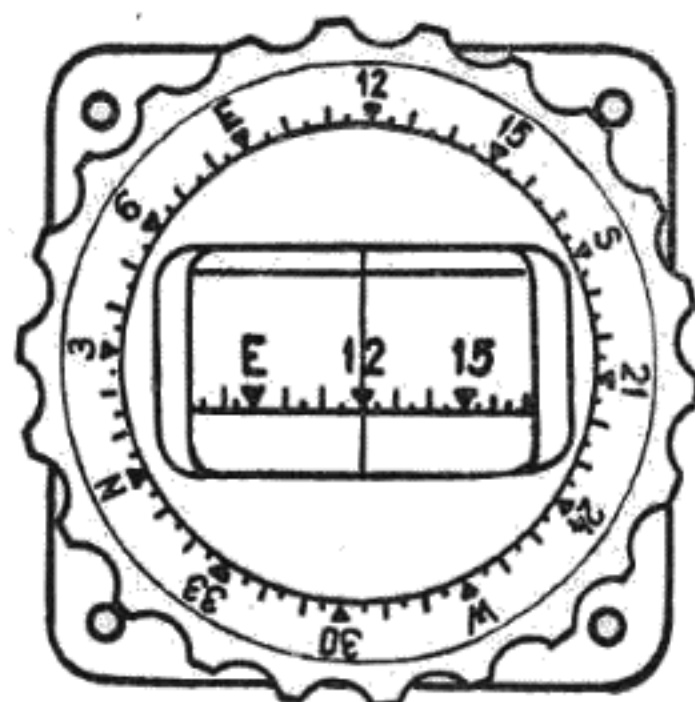
Obr. 11.7. Údaj kompasu při letu kursem 135° .



Obr. 11.8. Údaj kompasu při letu kursem 315° .



Obr. 11.9. Čelní deska malého československého kompasu.



Obr. 11.10. Použití otočného kursového kroužku.

mžiku směřuje osa letadla (podélná osa) na jihovýchod, jak vidíme z obrázku 11.7.

Odečteme-li údaj 315° , jak je nakresleno v obrázku 11.8, směřuje podélná osa letadla na severozápad.

Na obrázku 11.9 je čelní deska malého kompasu československé výroby. Tento kompas má navíc připojen otočný kroužek s dělením, shodným s dělením kompasové růžice, který nám slouží jako volič

kursu. Můžeme si jeho natočením nastavit hodnotu magnetické růžice (kurs), kterou chceme dodržovat během dalšího letu.

Letíme-li například z Prahy do Brna, tj. kursem 120° , nastavíme si kroužek tak, aby byl nahoře údaj „hodnota“ 12 a pak při letu udržujeme na kompasové růžici stále shodnou hodnotu, aniž bychom si ji museli stále pamatovat.

Užití kompasu s kroužkem má ještě tu výhodu, že při letu opačným směrem nemusíme příslušný kurs počítat, ale odečteme ho přímo na spodní části kroužku.

Tak například při letu z Prahy do Brna se meteorologická situace náhle zhorší tak, že se musíme vrátit zpět. Na spodní části kroužku kompasu čteme ihned kurs zpět, tj. 300° údaj 30, jak vidíme z obrázku 11.10.

Chyby způsobené závažíčkem

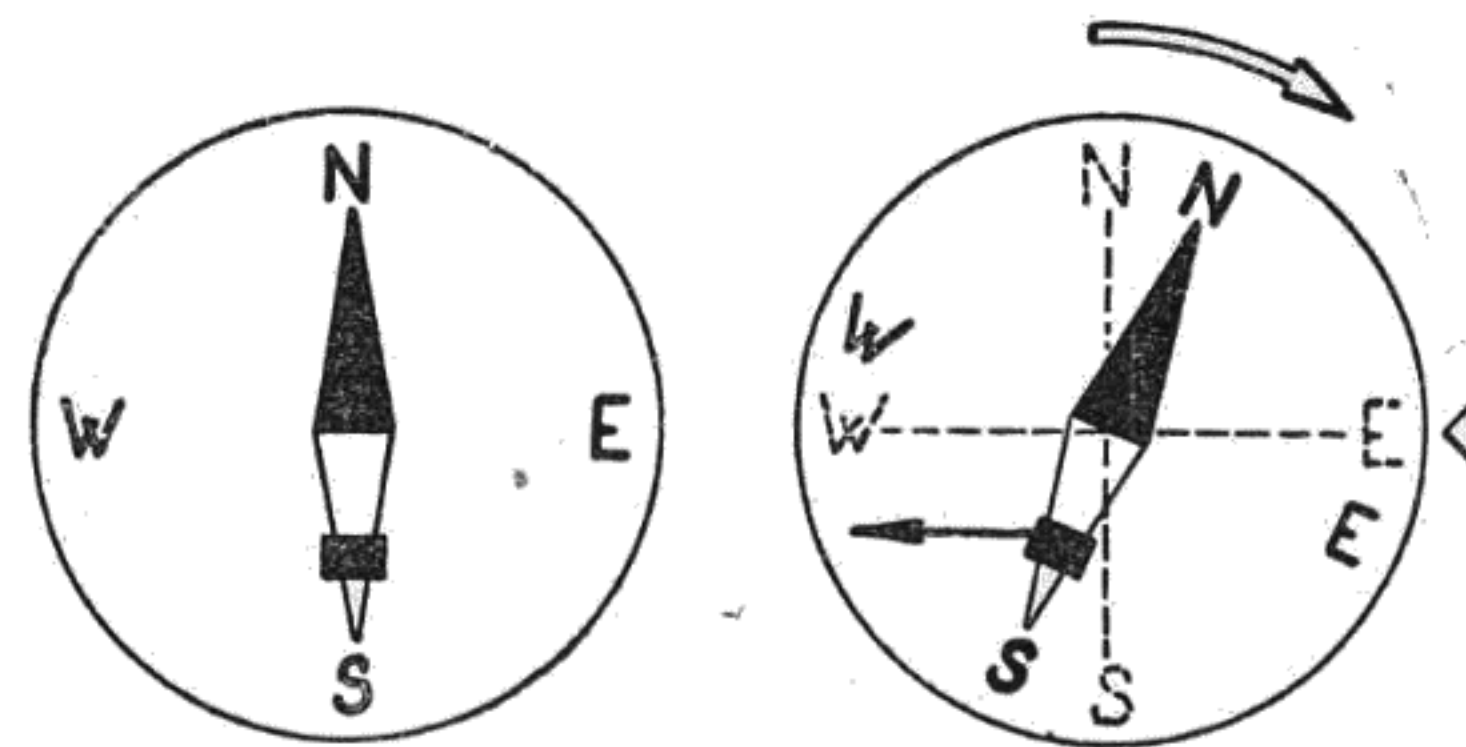
Jak jsme si již řekli, způsobuje závažíčko, umístěné na jižním konci magnetky kompasu, chybu údaje kompasu při zrychlovaném nebo zpomalovaném letu a při zatáčce.

a) Chyba při zrychlovaném nebo zpomalovaném letu

Letíme-li v horizontálním přímém letu například kursem 90° a náhle potlačíme, nebo u motorového letadla přidáme plyn, vychýlí se růžice kompasu vlivem setrvačné hmoty závažíčka, které je uchyceno na jižním konci magnetky tak, jako bychom prováděli zatáčku doleva, ačkoliv letíme dále přímo.

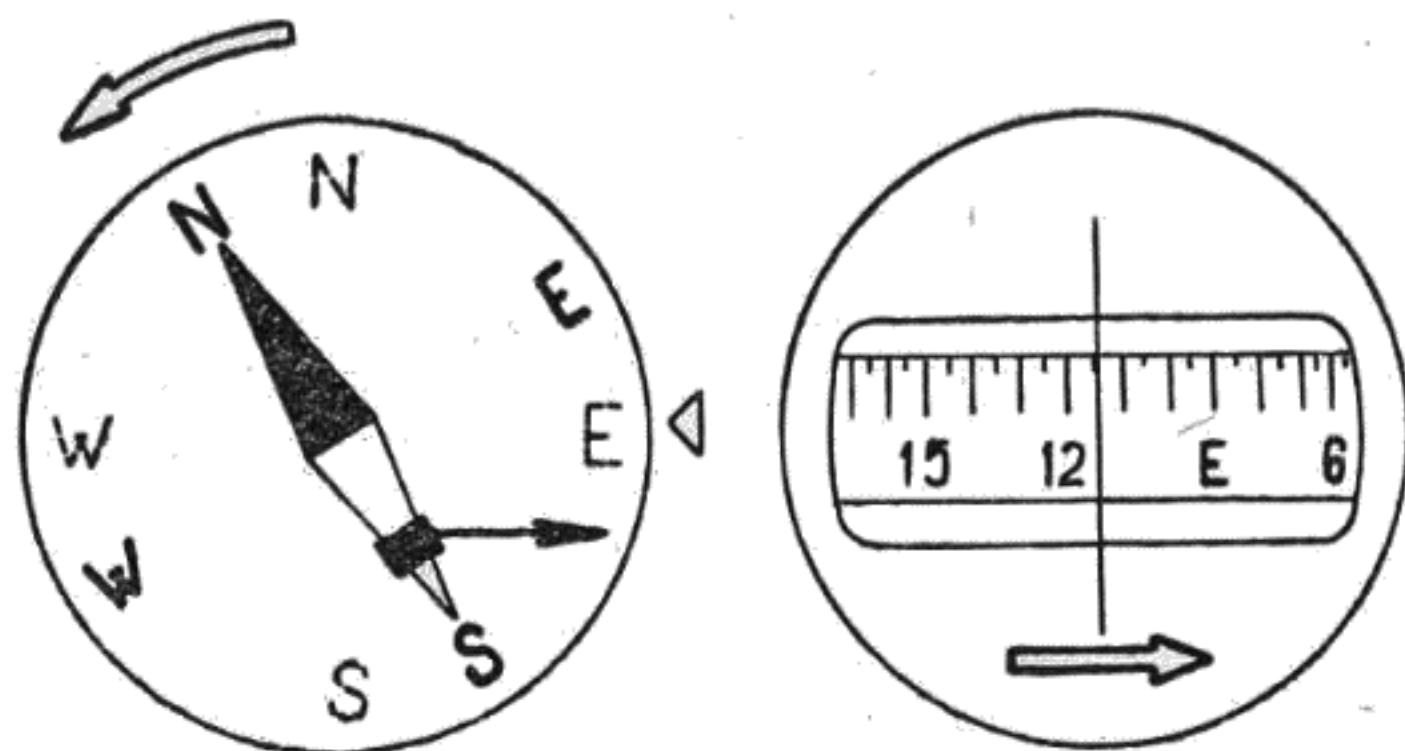
Tento jev si vysvětlíme na obrázku 11.11.

Představíme si, jako by závažíčko vlivem své hmoty zůstalo stát; tím se kompasová růžice, pevně spojená s magnetkou, natočí a my máme dojem, že provádíme zatáčku vlevo.



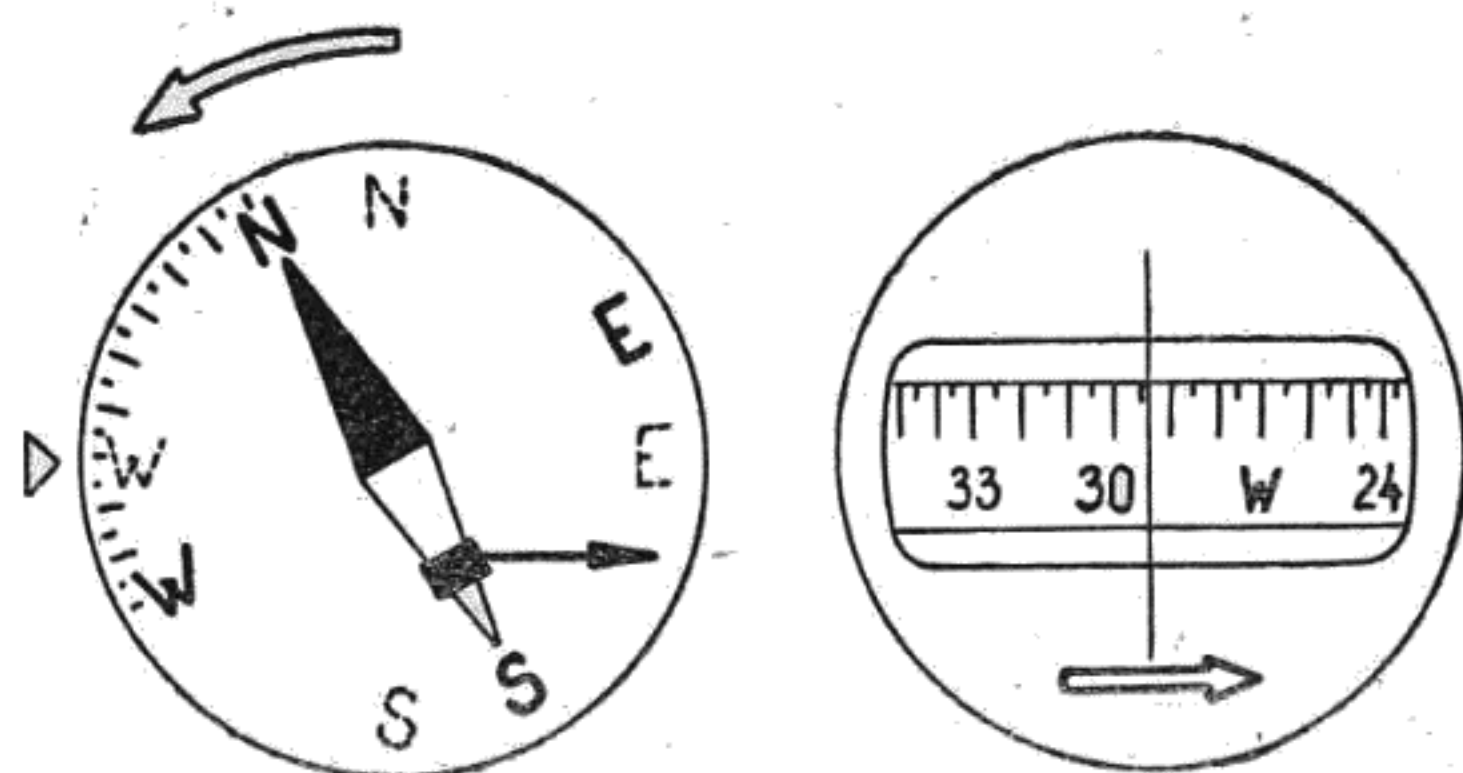
Obr. 11.11. Chyba údaje kompasu při zrychleném letu kursem 90° .

Poletíme-li kursem 90° a náhle přitáhneme (nebo u motorového letadla ubereme náhle plyn), tj. zbrzdíme let, pak se vlivem setrvačné hmoty závažíčka, které jakoby pokračovalo původní rychlostí v po-



Obr. 11.12. Chyba údaje kompasu při zbrzděném letu kursem 90° .

hybu (ačkoliv se letadlo zbrzdí), kompasová růžice natočí a my máme dojem, že provádíme zatáčku vpravo, ačkoli letíme dále v přímém letu. Tento případ je znázorněn na obrázku 11.12.

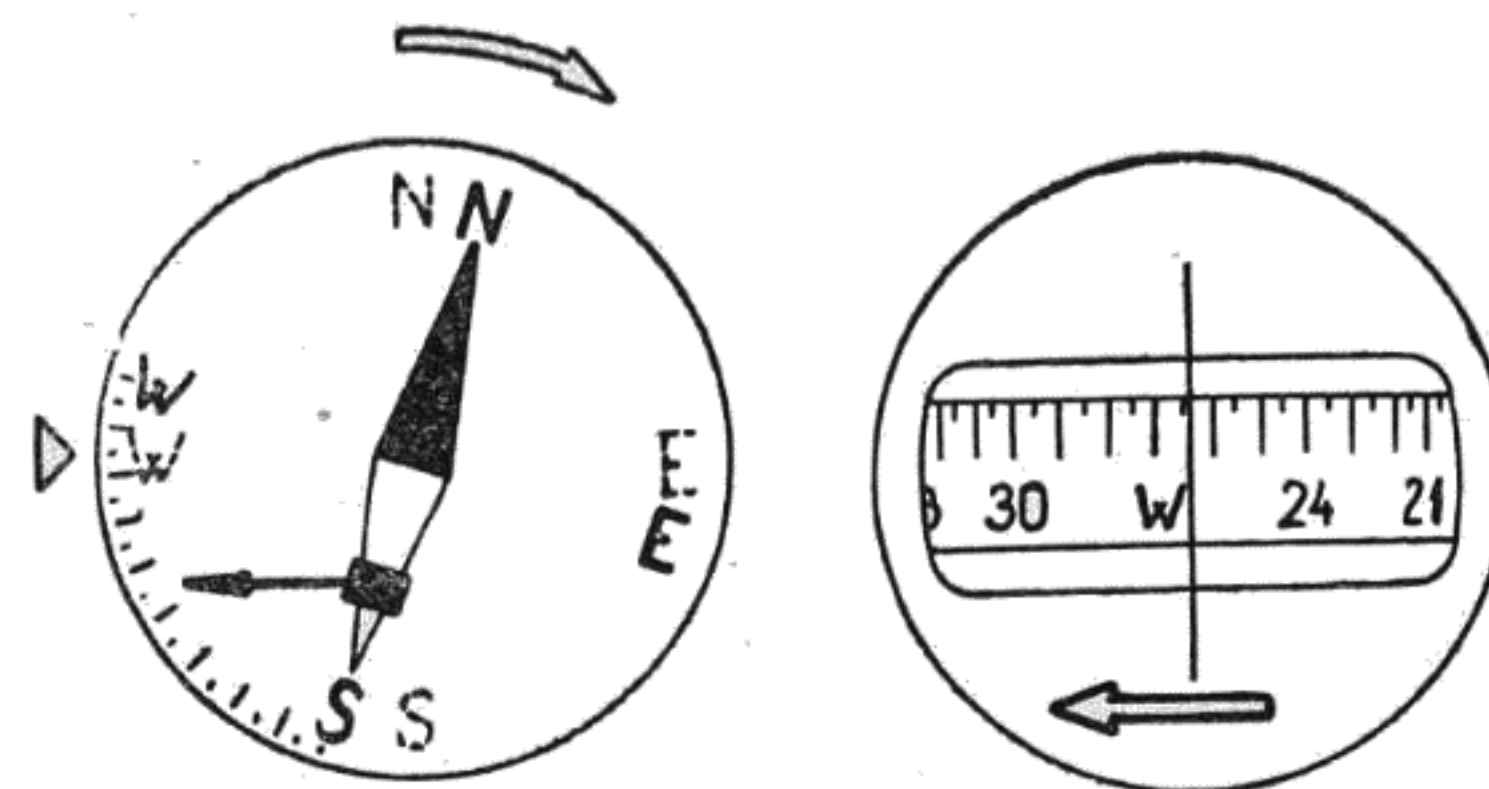


Obr. 11.13. Chyba údaje kompasu při zrychleném letu kursem 270° .

Poletíme-li v přímém letu kursem 270° a náhle potlačíme (u motorového letadla přidáme plyn), pak se vlivem setrvačné hmoty závažíčka, které jakoby zůstalo stát, kompasová růžice natočí tak, že máme dojem, že provádíme zatáčku vpravo, ačkoli letíme dále v přímém letu.

Tento případ je znázorněn na obrázku 11.13.

Poletíme-li kursem 270° v přímém letu a náhle přitáhneme výškové kormidlo (nebo u motorového letadla ubereme plyn), natočí se růžice kompasu vlivem setrvačné hmoty závažíčka (které jakoby



Obr. 11.14. Chyba údaje kompasu při zbrzděném letu kursem 270° .

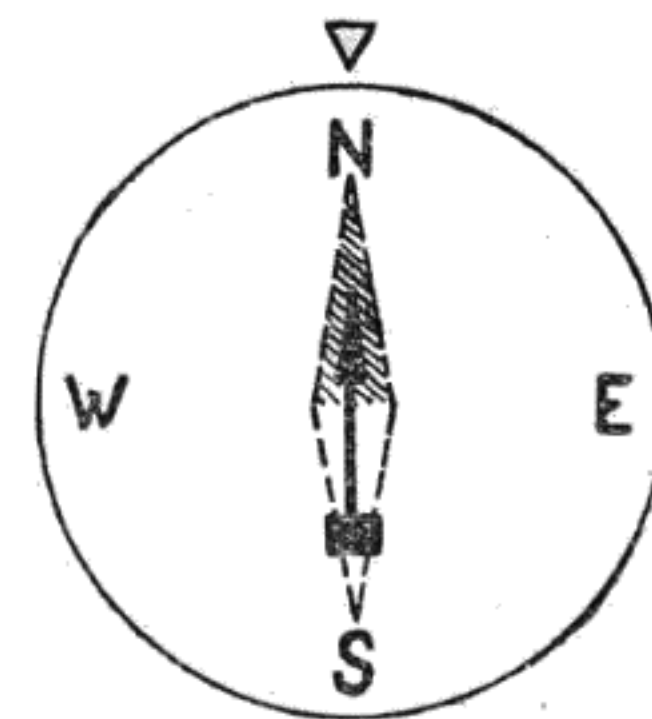
pokračovalo dále původní rychlostí) tak, že máme dojem, že děláme zatáčku doleva.

Tento případ je znázorněn na obrázku 11.14.

Z polohy závažíčka vzhledem k dělení kompasové růžice usoudíme, že největší chyba, způsobená při zrychlovaném nebo zpomalovaném letu nastane v případě, kdy letíme buď kursem 270° nebo kursem 90° . Pro ostatní kursy je tato chyba menší, až pro let kursem 0° (na sever) nebo 180° (na jih) je chyba při zrychlovaném nebo při zpomalovaném letu nulová. V těchto případech (let kursem 0° nebo kursem 180°) prochází totiž setrvačná síla závažíčka osou otáčení magnetky a nemůže tedy způsobit otáčení kompasovou růžicí.

Obrázek 11.15. znázorňuje případ letu kursem 0° („N“) při zbrzděném letu, tedy v případě, že v přímém letu náhle přitáhneme výškové kormidlo nebo u motorového letadla náhle ubereme plyn.

Vidíme, že setrvačná síla závažíčka, která prochází osou otáčení magnetky, nemůže způsobit její natáčení.

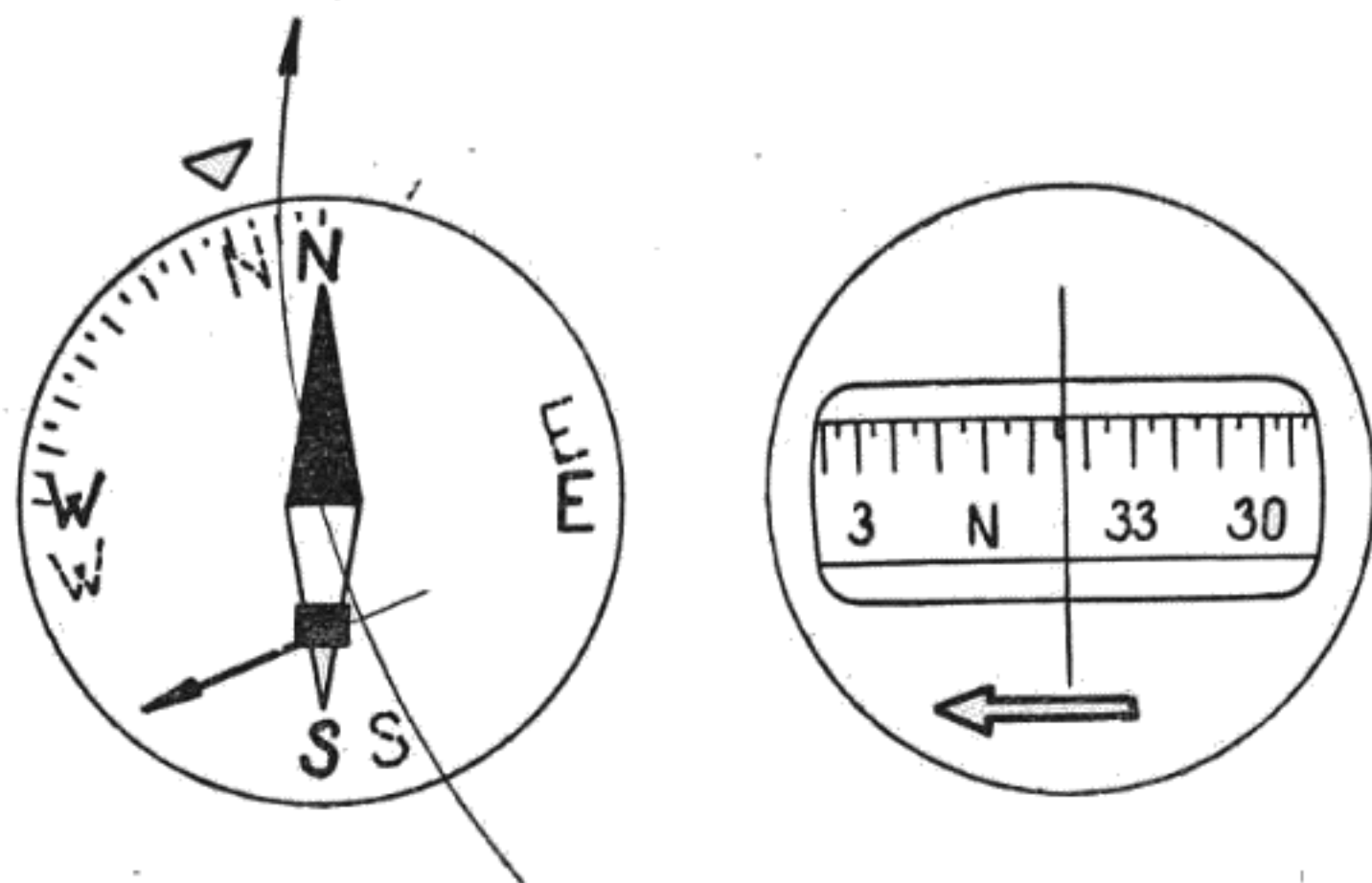


Obr. 11.15. Údaj kompasu při zbrzděném letu kursem „N“

b) Chyba při zatáčce letadla

Provádíme-li zatáčku, působí na závažíčko na magnetce odstředivá síla, která způsobí, že růžice se pohybuje jinou rychlostí než odpovídá zatáčce, takže údaje kompasu jsou zkreslené.

Letíme-li kursem 0° (N) a začneme zatáčet vpravo, způsobí odstředivá síla, působící na závažíčko, natočení kompasové růžice vpravo, tj. do hodnot menšího kursu, jako kdybychom prováděli



Obr. 11.16. Chyba údaje kompasu při zatáčce vpravo z kursu „N“.

zatáčku vlevo. Pro ujasnění této situace se podívejme na obrázek 11.16.

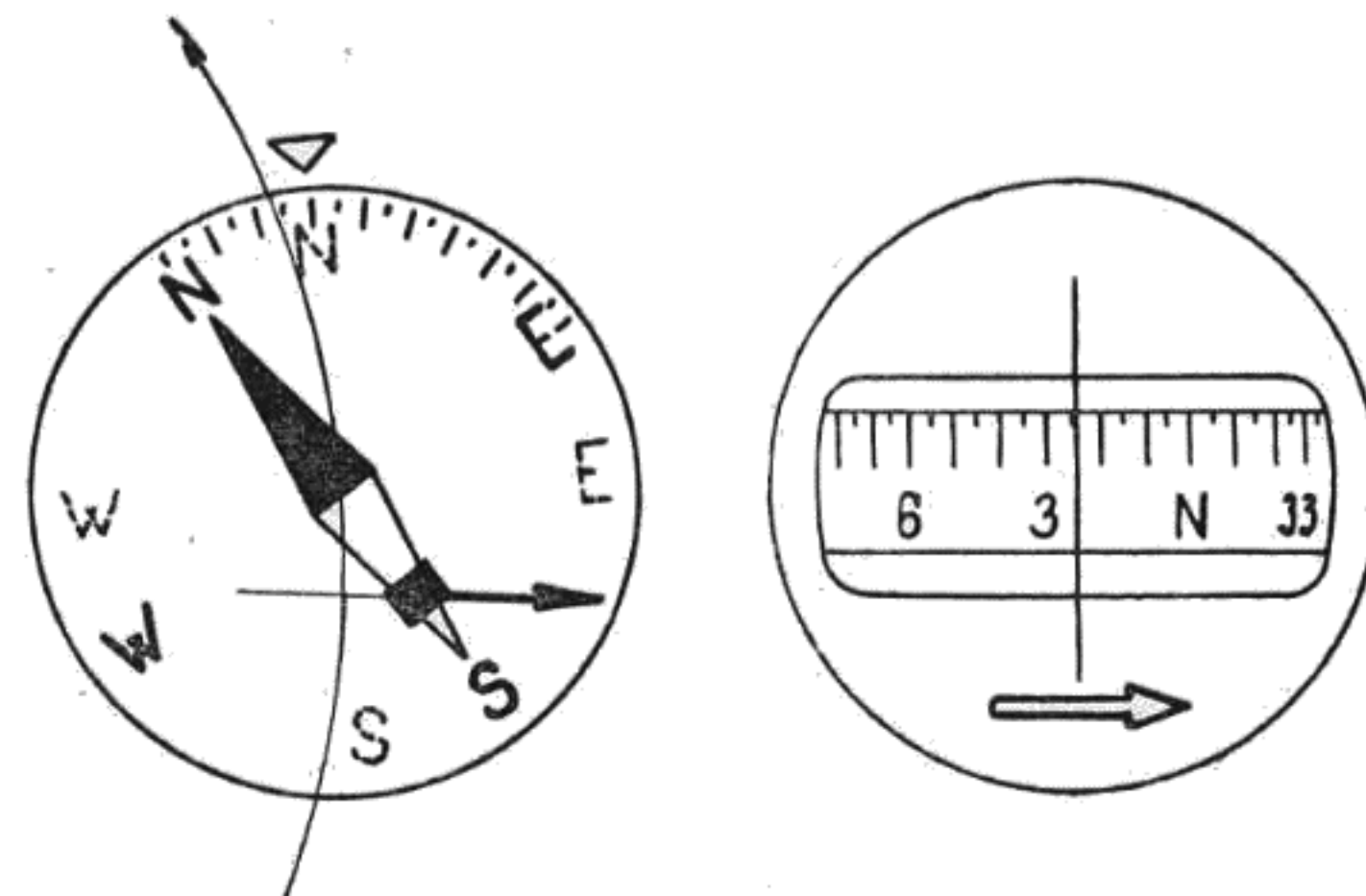
Směr pohybu růžice kompasu je také zřejmý z pravého obrázku na obrázku 11.16, kde je schématicky znázorněn pohled na číselník kompasu.

Uvedený případ bývá většinou komplikován tím, že na otočný systém kompasu, tj. kompasovou růžici, magnetky, jejich uchycení a závěsy působí především viskozita tlumicí kapaliny, která často způsobí buď „zadržení růžice“, nebo naopak její „unášení“ při již zastaveném zatáčení letadla, dále setrvačná hmoty celého pohyblivého systému, která při náhlém zatáčení způsobí zadržení růžice a při náhle zastavovaném zatáčení způsobí dodatečné otáčení růžice.

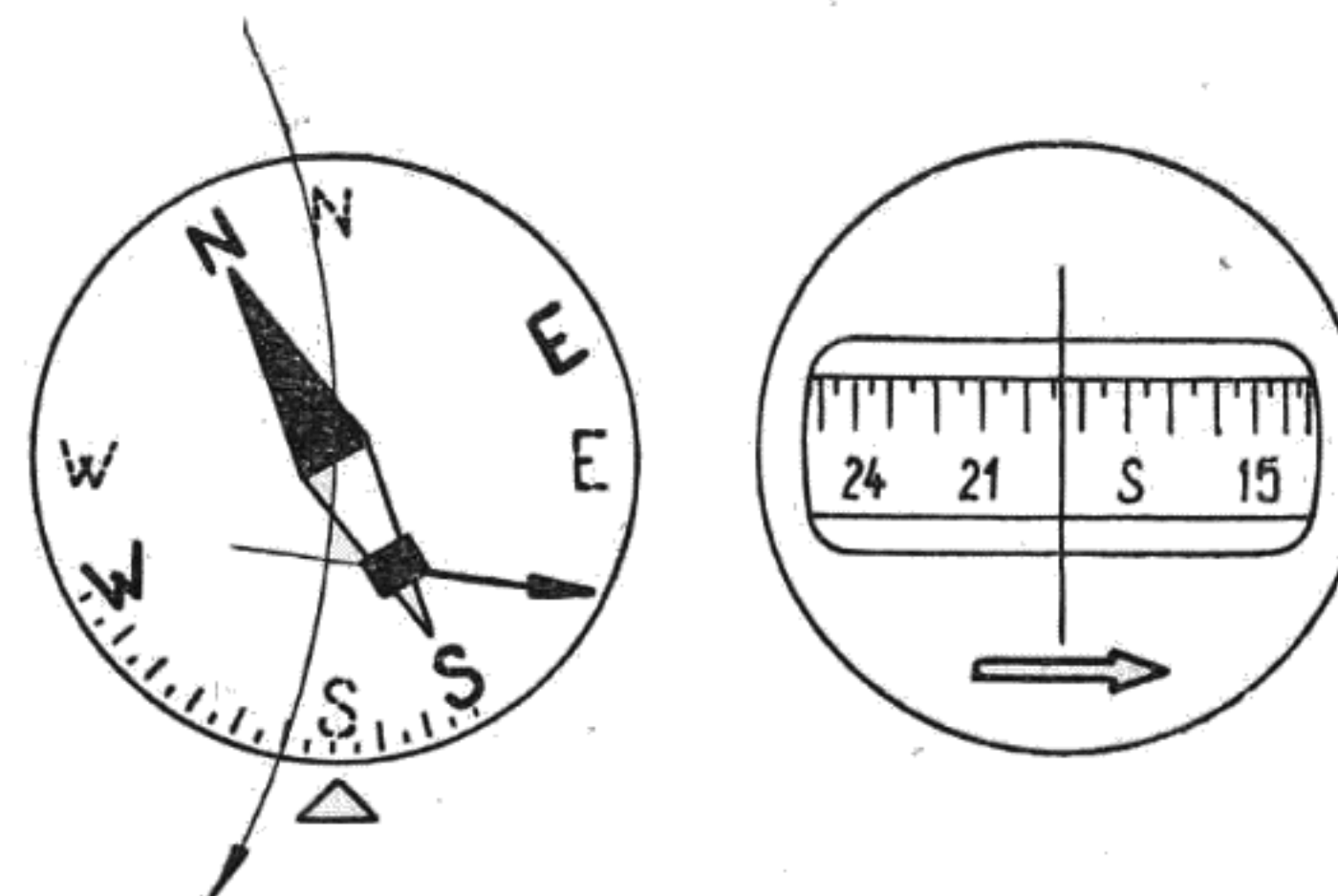
Převažující je ovšem vliv odstředivé síly na závažíčko, který jsme si popsali na začátku tohoto odstavce. Dodatkové vlivy se uplatní v jednotlivých případech různě podle toho, zda je zatáčka pozvolná nebo prudká, nebo zda je uvádění do zatáčky pozvolné nebo náhlé.

Poletíme-li kursem N (0°) a začneme dělat zatáčku vlevo, začne

se vlivem odstředivé síly, působící na závažíčko magnetky, růžice natáčet tak, že máme podle údaje kompasové růžice dojem, že provádíme zatáčku vpravo.



Obr. 11.17. Chyba údaje kompasu při zatáčce vlevo z kursu „N“.



Obr. 11.18. Chyba údaje kompasu při zatáčce vpravo z kursu 180° .

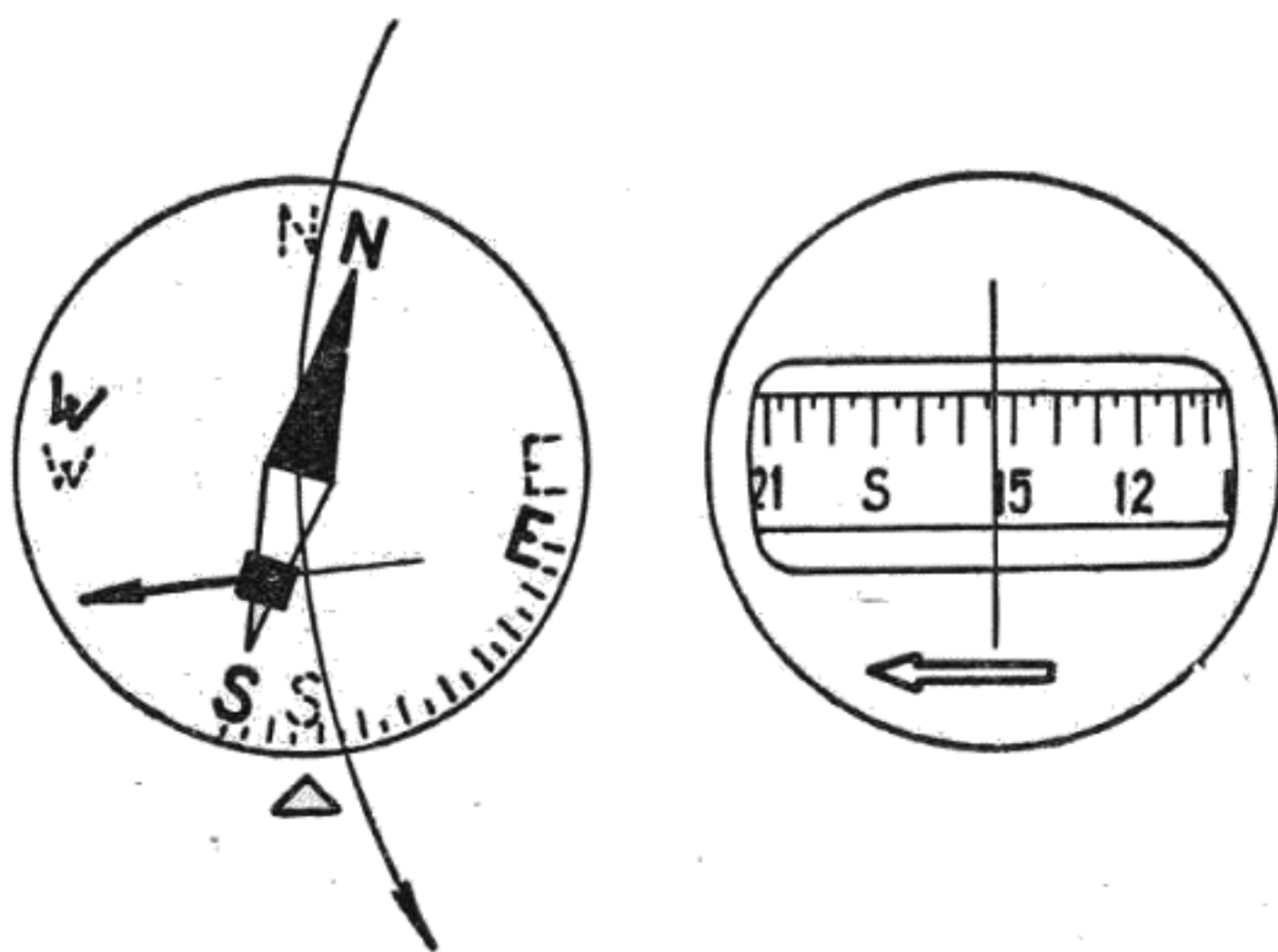
Tento případ znázorňuje obrázek 11.17. Jak jsme si uvedli v minulém odstavci, mohou ovšem na kompasovou růžici působit ještě další vlivy, který popsany údaj ještě zkreslí.

Letíme-li kursem 180° , tj. na jih, a začneme-li provádět zatáčku vpravo, začne se vlivem odstředivé síly, působící na závažíčko mag-

netky, růžice kompasu natáčet rovněž vpravo, takže máme podle údaje kompasové růžice dojem, že zatáčka je prováděna prudčeji.

Tento případ vidíme na obrázku 11.18. Šipka pod schématickým obrázkem čelní desky kompasu (kompasovou růžicí) znázorňuje směr přídatného pohybu kompasové růžice.

Letíme-li kursem 180° a začneme-li provádět zatáčku vlevo, bude vlivem odstředivé síly, působící na závažíčko magnetky, údaj kompasu „předbíhat“ skutečný pohyb letadla, takže máme podle údaje



Obr. 11.19. Chyba údaje kompasu při zatáčce vlevo z kursu 180° .

kompasové růžice dojem, že zatáčka je prudší. Takový případ je na obrázku 11.19.

Z popisu chyby kompasu při zatáčce letadla usoudíme, že chyba údaje kompasu vlivem odstředivé síly, působící na závažíčko magnetky v zatáčce letadla, bude při zatáčkách z kursu 90° a 270° nulová. Při zatáčce letadla z kursu 90° nebo 270° prochází totiž odstředivá síla závažíčka osou otáčení magnetky a nemůže proto způsobit její přídatné natáčení, jak vidíme z obrázku 11.20.

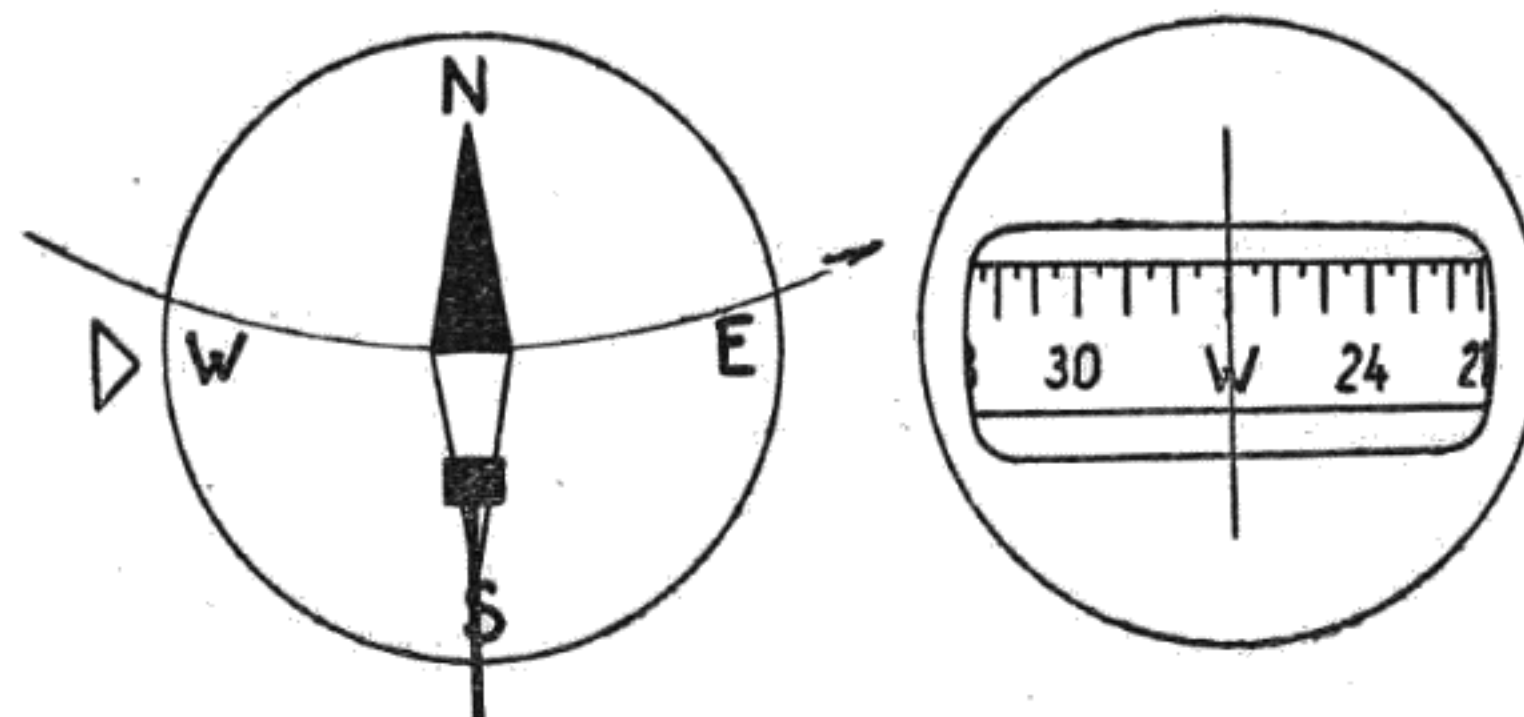
Pro zatáčky z ostatních kursů bude tedy chyba kompasu v zatáčce tím menší, čím je počáteční kurs zatáčky blíže kursu 90° nebo 270° .

Je samozřejmé, že i v posledních dvou popsanych případech působí na magnetku kromě vlivu odstředivé síly závažíčka magnetky ještě vliv viskozity tlumicí kapaliny kompasu a vliv setrvačné hmoty celé pohyblivé části systému kompasu, jak jsme si probrali při popisování chyby kompasu v zatáčce z kursu 0° .

Uvedme si ještě, jak se chová kompasová růžice při přechodu ze zatáčky do přímého letu.

Řekli jsme si, že poblíž kursu 0° (N) je kompas „líný“, že se pohybuje pomaleji, než odpovídá prováděné zatáčce. Při uvádění do zatáčky z kursu N se někdy dokonce chvíli pohybuje opačným směrem a pak líně sleduje pohyb letadla.

Máme-li za úkol zakončit zatáčku přesně v kursu N, nebudeme tedy čekat, až růžice kompasu „doleze“ na hodnotu N, ale budeme



Obr. 11.20. Údaj kompasu při zatáčce vlevo z kursu 270° .

zatáčku končit dříve. O kolik, to závisí na úhlové rychlosti zatáčky. Pro názor si však můžeme uvést, že se zatáčka do kursu N končí asi o 30° (podle údaje kompasu) dříve, tj. při údaje kompasu 3 (30°) při levé zatáčce a při údaje kompasu 33 (330°) při pravé zatáčce.

Opačné pravidlo platí pro vybírání zatáčky do kursu 180° . Řekli jsme si, že údaj kompasu se v zatáčce kolem hodnoty 18 (180° , „S“) předbíhá. Zatáčku do kursu 180° budeme tedy končit později, tj. asi při údaje kompasové růžice 21 při pravé zatáčce a asi při údaje 15 při levé zatáčce.

Zkráceně je možno si uvedená pravidla zapamatovat podle této poučky: *Jih se přetáčí, sever se nedotáčí.*

Z uvedeného rozboru již vyplývá, že zatáčky do kursu 90° a 270° se končí přesně podle údaje kompasu (ovšem za předpokladu, že zatáčku končíme rovnoměrně!).

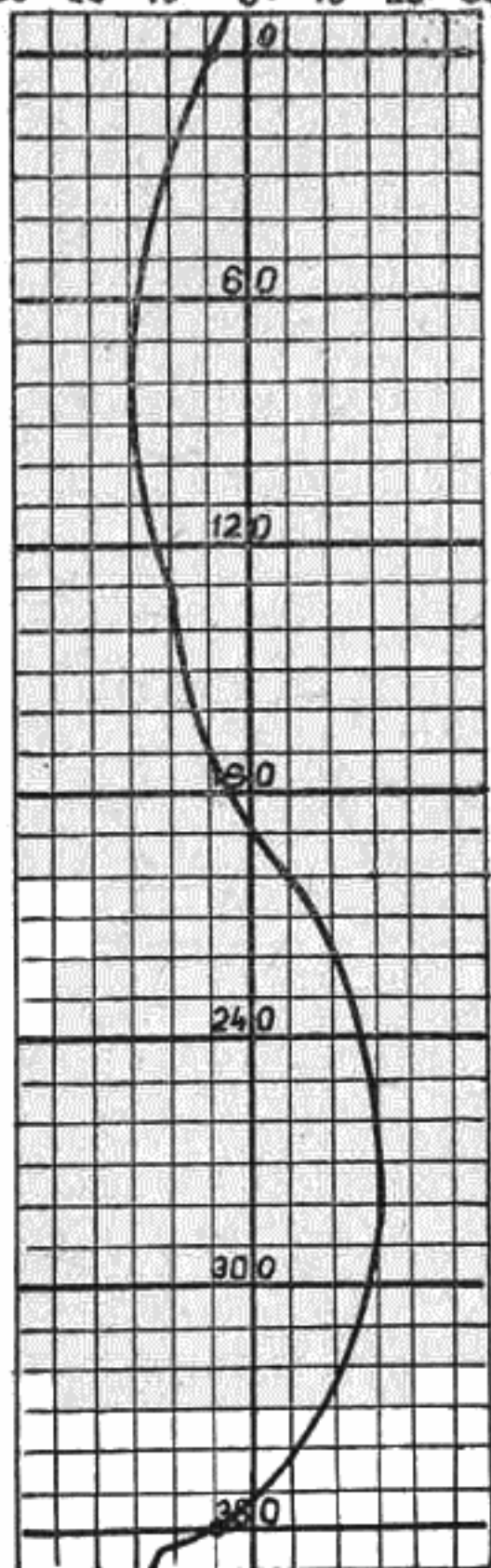
Kompenzace kompasu

Promluvíme si nyní ještě krátce o kompenzaci kompasu. Na začátku této kapitoly jsme si již řekli, že údaj magnetického kompasu může být ovlivněn (někdy i dost značně) magnetickými nebo elektromagnetickými poli v letadle.

Z navigace víme, že takto vzniklým úchyilkám kompasu říkáme deviace. Deviace je úhel mezi směrem, udávaným kompasem a směrem, určeným ničím neovlivněnou magnetickou růžicí.

Aby údaj kompasu byl spolehlivý, je nutné všechny rušivé vlivy (rušivá magnetická nebo elektromagnetická pole v letadle) kompenzovat.

30° 20° 10° 0° 10° 20° 30°



Obr. 11.21. Kompensační křivka kompasu.

To provádíme tak, že letadlo postavíme na kompenzační kruh, který je na velkých letištích a který tvoří otočná plošina, vyrobená z nemagnetického materiálu (například mosazi, dřeva a podobně), kterou je možno natáčet o celých 360° podle údajů přesného kompasu. Přesný kompas musí být ovšem dostatečně vzdálen a izolován od rušivých magnetických polí.

Letadlo se postaví do letové polohy v letové konfiguraci (tj. například se zataženým podvozkem, s posádkou v kabině, se spuštěnými elektrickými spotřebiči atd.).

Potom se letadlem natáčí do jednotlivých předem určených směrů a sleduje se údaj kompasu na palubní desce letadla.

Pokud jsou odchylky od správného kursu malé (asi do 10°), zaznamenají se do kompenzační tabulky, která je potom umístěna poblíž kompasu na palubní desce.

Jsou-li odchylky větší, musí se kompenzovat.

Na obrázku 11.6 si znovu všimneme krabičky na spodní části čelní desky přístroje 6. Do této krabičky vkládáme podle určitých pravidel kompenzační jehly (malé jehlové magnety), kterými úchytku kompasu vzhledem ke správnému údaji kontrolního přesného kompasu vyrovnáme, vykompenzujeme.

Malé zjištěné úchytky nebo úchytky, které se nepodařilo kompenzačními jehlami vykompenzovat, zapíšeme do kompenzační tabulky nebo vyneseme jako kompenzační křivku do diagramu. Na obrázku 11.21. je uvedena kompenzační křivka kompasu.

Na palubní desce poblíž kompasu bývá však častěji než kompenzační křivka (u sportovních letadel) umístěna kompenzační tabulka. Její příklad si nyní uvedme:

Za letu opravujeme údaj kompasu o hodnoty, uvedené v kompenzační tabulce pro kurs, kterým letíme nebo blízký kurs. Máme-li například letět kursem 120°, musíme opravit kurs tak, aby kompasová růžice ukazovala 112°, protože deviace je podle uvedené kompenzační tabulky + 8°.

Čtení správného údaje kompasu i s ohledem na deviaci podle kompenzační tabulky ovšem předpokládá, že se za letu dodržují stejné podmínky, jako při kompenzaci kompasu. Nesmíme proto mít v letadle jakýkoliv předmět nebo přístroj s vlastním magnetickým polem, který nebyl při kompenzování na palubě letadla. Nemůže proto například na údaj kompasu naprosto spoléhat pilot motorového letadla, který si na palubní desku pověsil klíče od bytu.

Ve větších letadlech, kde je možnost rušení údaje magnetického kompasu větší, užívá se tak zvaných mateřských kompasů, které jsou umístěny co nejdále od motorových jednotek a zdrojů magnetického rušení, tj. například v zadní části trupu. Jejich údaj se potom dálkově (elektricky nebo pneumaticky) přenáší na palubní desku na sesterský kompas.

Dalším typem kompasů, užívaných ve větších letadlech, jsou kompasy gyromagnetické. Gyromagnetický kompas je v podstatě směrový setrvačnický, jehož údaje jsou přímo korigovány magnetickým kompasem.

Další typy, jako indukční kompas, gyroindukční kompas a podobně, jsou uvedeny v přehledu přístrojů v závěru této knihy.

Kurs	Deviace
N	+ 1
30	+ 3
60	+ 4
E	+ 6
120	+ 8
150	+ 5
S	0
210	- 2
240	- 5
W	- 7
300	- 6
330	- 5
N	+ 1

Nejdůležitější poučky z kapitoly

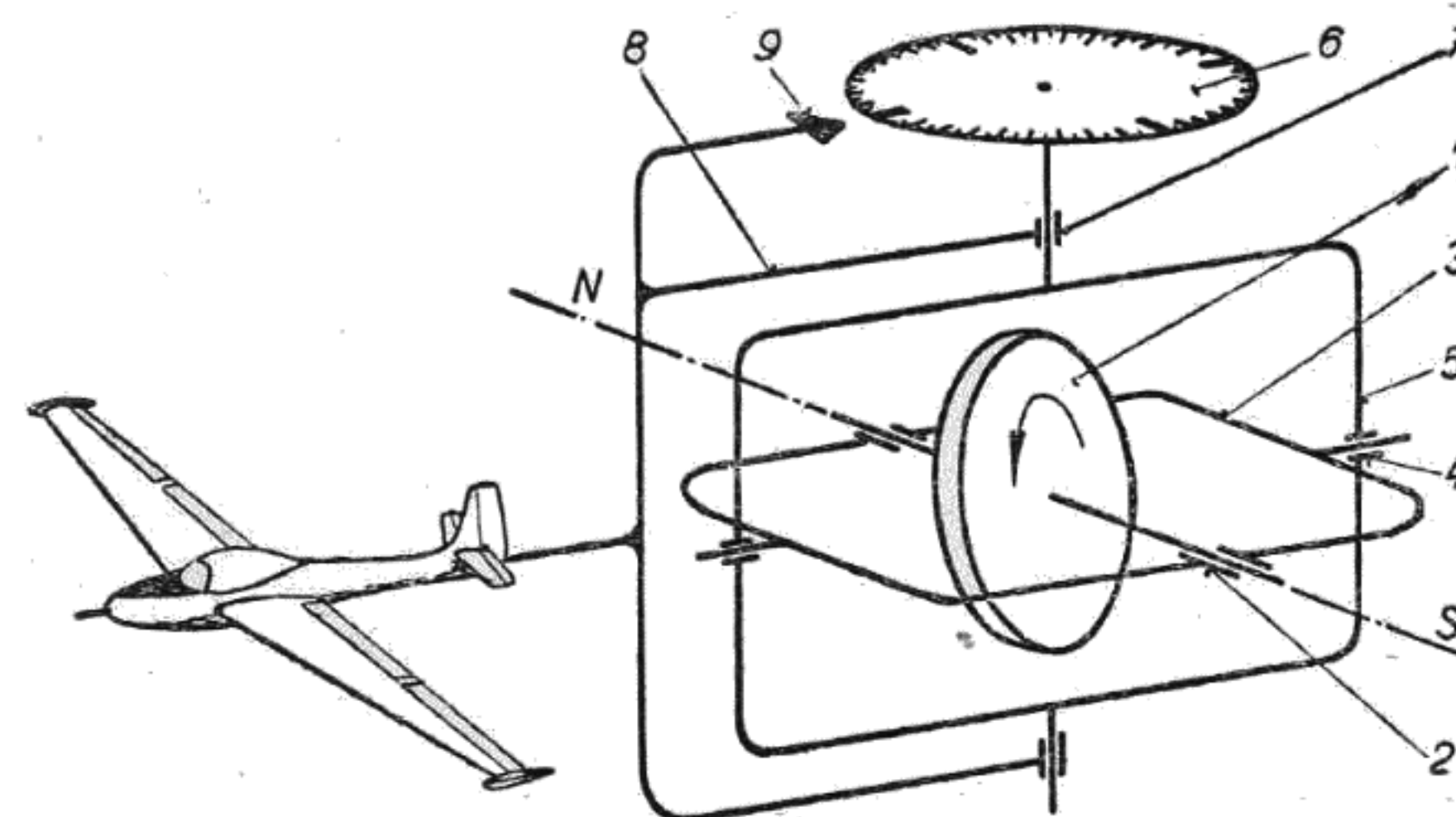
Nejužívanějším typem kompasů a typem užívaným ve většině jsou magnetické kompasy. Využívají zemského magnetického pole a jejich podstatnou částí je magnetka. Aby se vyrovnal vliv inklinace, je na jižním konci magnetky uchyceno závažíčko. To má za následek zkreslování údaje kompasu při zrychlování nebo zpomalování letu a při letu v zatáčce. Při zrychlování nebo zpomalování letu se chyba projevuje nejvíce při letu kursem 90° nebo 270°. Chyba při zatáčce je největší při zatáčce z kursu 0° nebo 180°.

Aby se vyloučil vliv magnetických polí letadla na údaj kompasu, musí být každý kompas kompenzován. Nevykompenzované odchylky kompasu pro jednotlivé kursy jsou vyneseny do deviační tabulky, která je umístěna na palubní desce poblíž kompasu, nebo do deviační křivky.

1. Jaké typy kompasů, používaných v letadle, znáte?
2. Jakého typu kompasu se užívá ve větronicích?
3. Co je základním elementem magnetického kompasu?
4. Co je to inklinace a jak je u magnetického kompasu vyloučena; jaká je její hodnota pro Prahu?
5. Popište konstrukci magnetického kompasu!
6. Popište značení kursů na kompasové růžici!
7. Vysvětlíte zkreslování údaje kompasu při zrychlovaném nebo zpomalovaném letu!
8. Vysvětlíte zkreslování údaje kompasu v zatáčkách!
9. Jak vybíráme zatáčky do různých kursů?
10. Co je to kompenzace kompasu?
11. K čemu nám slouží kompenzační jehly a kde jsou umístěny?
12. Kde jsou uvedeny zbylé odchylky kompasu pro jednotlivé kursy po kompenzaci kompasu?
13. Proč se u velkých motorových letadel užívá dálkových kompasů?

12. SMĚROVÉ SETRVAČNÍKY

Směrový setrvačnick, někdy nazývaný též „polokompas“ je setrvačnickový přístroj, který slouží k určování kursu letadla. Polokompasem se nazývá proto, že nám nahrazuje magnetický kompas při letu v zatáčkách a při nerovnoměrných letových režimech.



Obr. 12.1. Schéma směrového setrvačnicku.

1 - setrvačnick, 2 - ložiska setrvačnicku, 3 - vnitřní rámeček, 4 - ložiska vnitřního rámečku, 5 - vnější rámeček, 6 - kursová stupnice, 7 - ložiska vnějšího rámečku, 8 - pouzdro přístroje, 9 - ukazatel pevně spojený s letadlem.

V kapitole 11. o magnetických kompasech jsme si uvedli, že hlavní nevýhodou magnetického kompasu je jeho nespolehlivý údaj ve všech nerovnoměrných režimech letu a v zatáčkách, tedy ve všech režimech letu kromě ustáleného (rovnoměrného) horizontálního přímého letu.

Další chybou magnetického kompasu je ovlivňování jeho údaje magnetickými poli v letadle.

Všechny uvedené nevýhody magnetického kompasu jsou odstraněny při užití směrového setrvačnicku pro určení kursu letadla.

Směrový setrvačník je přístroj, jehož hlavním elementem je rychle se otáčející setrvačník s horizontální osou otáčení, uložený v kardanovém závěsu. Schéma směrového setrvačníku (polokompasu) je zřejmé z obrázku 12.1.

Setrvačník 1 s vodorovnou osou otáčení se otáčí v ložiskách 2 vnitřního rámečku 3. Vnitřní rámeček kardanového závěsu 3 je otočný v ložiskách 4 vnějšího rámečku 5. Vnější rámeček nese kursovou stupnici 6 a je otočný kolem svislé osy v ložiskách 7 pouzdra přístroje 8. Pouzdro přístroje 8 je pevně spojeno s letadlem (jak schématicky znázorňuje obrázek 12.1). Kurs odečítáme na kursově stupnici 6 proti ukazateli 9 (pevně spojenému s letadlem).

Základní podmínkou správné funkce přístroje je, aby osa otáčení setrvačníku byla postavena přesně ve směru sever – jih („N“ – „S“), což je nutné při spouštění zajistit, jak si uvedeme dále.

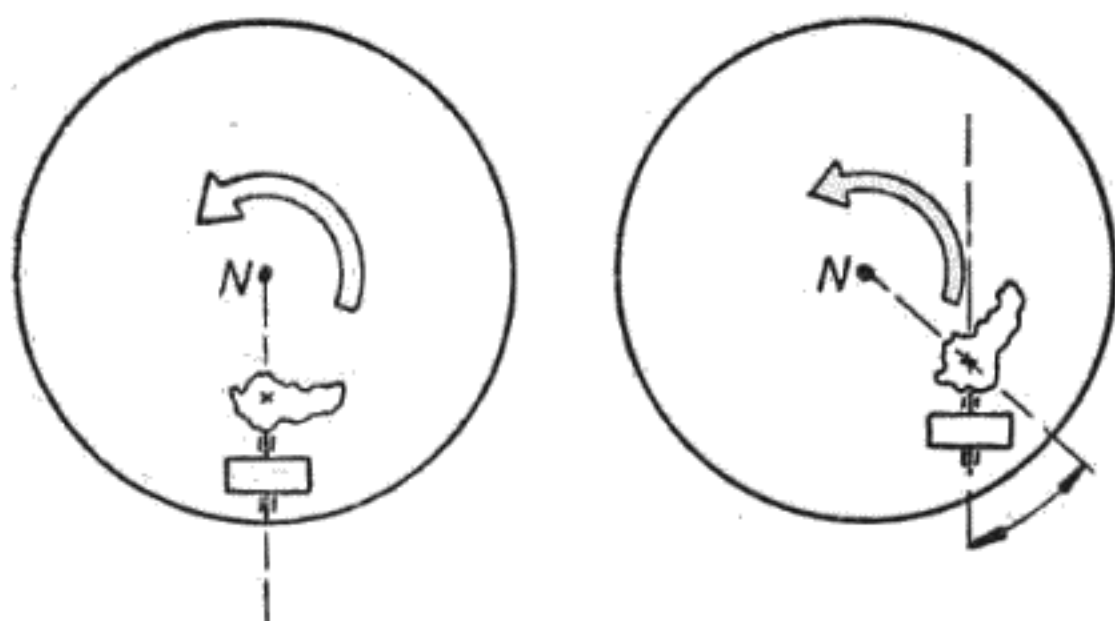
Rychle se otáčející setrvačník nemění svou polohu (svou rovinu rotace), pokud neuvažujeme vliv tření v ložiskách, nevyvážení vnitřního rámečku závěsu a podobně (tedy má stejnou základní vlastnost jako setrvačník umělého horizontu). Proto také zůstává stále ve stejné poloze kursová stupnice. Bude-li letadlo provádět zatáčku, bude se zároveň natáčet ukazatel (spojený pevně s letadlem) vzhledem ke kursově stupnici (spojené s vnějším rámečkem kardanového závěsu setrvačníku).

Protože vnitřní rámeček není vždy dokonale vyvážen a vliv tření v ložiskách není zanedbatelný, nezachovává osa setrvačníku nastavený směr, nýbrž odchyloje se. Za dobu 15÷20 minut je tato chyba u běžných typů směrových setrvačníků asi 3°. Proto je nutné vždy nejdéle po této době přístroj znovu seřadit podle magnetického kompasu.

Dalším vlivem, který způsobuje odchylku osy setrvačníku z daného nastaveného směru je vliv otáčení Země. Tento vliv se kompenzuje přímo konstrukcí přístroje a to tak, že na vnitřní rámeček je upevněno závažíčko (viz obrázek 12.3), které

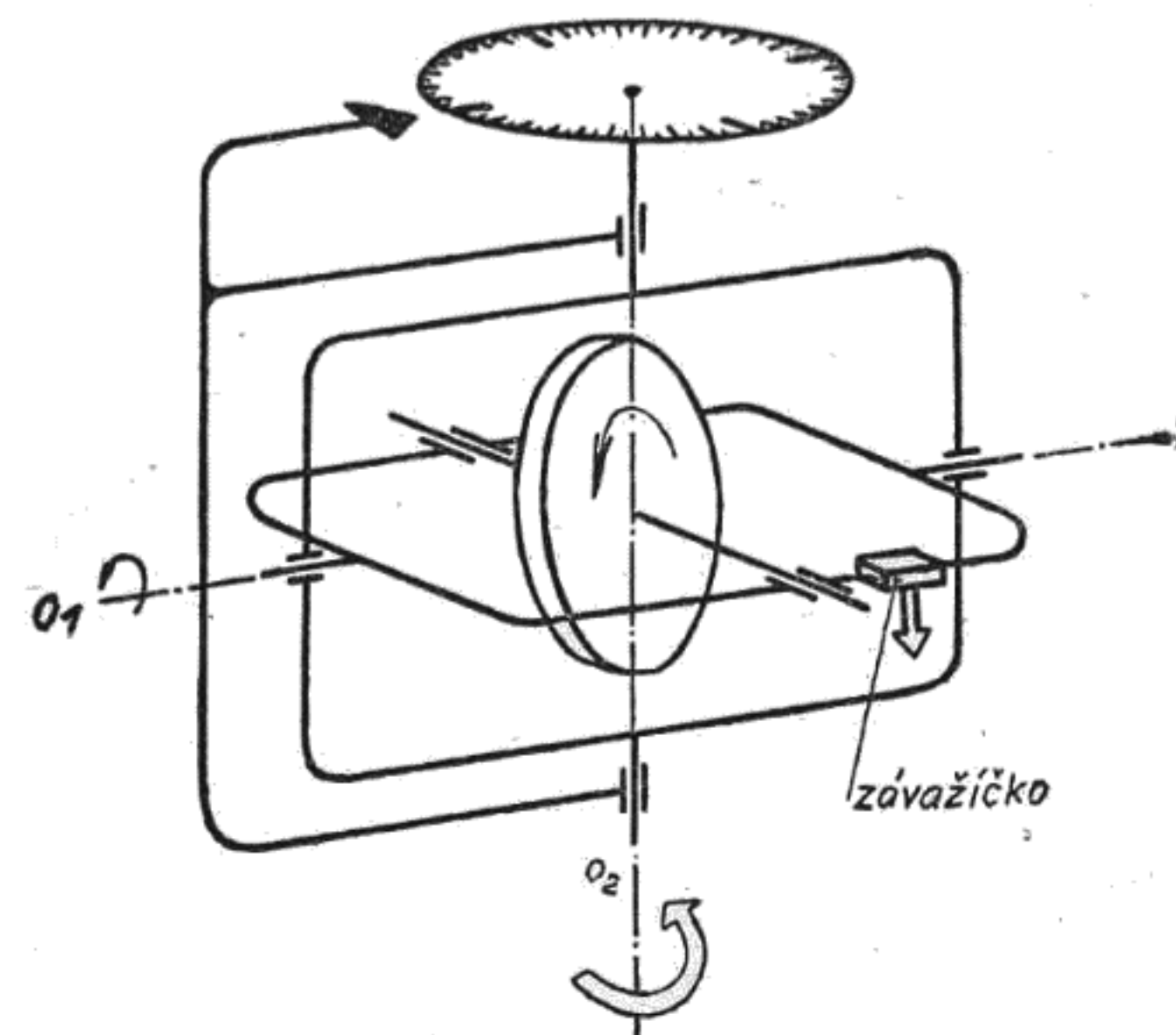
způsobuje natáčení vnitřního rámečku kolem jeho uložení ve vnějším rámečku a tím vznikne precesní pohyb, který nastavuje osu setrvačníku stále znovu do směru sever – jih.

Kdyby nebylo této kompenzace, odchylovala by se osa setrvačníku od nastaveného směru určitou úhlovou rychlostí, danou součinem úhlové rychlosti otáčení Země a sinu zeměpisné šířky stanoveného místa, protože osa setrvačníku by měla snahu bez užití



Obr. 12.2. Nemá-li směrový setrvačník kompenzaci na vliv otáčení Země, zachovává setrvačník přístroje stále stejnou polohu vzhledem ke stálícím.

popsané korekce zachovávat v prostoru stále stejný směr. Úhlová rychlost odchylování osy setrvačníku od nastaveného směru by byla maximální na pólu, tj. 15°/hod a na rovníku by byla nulová.

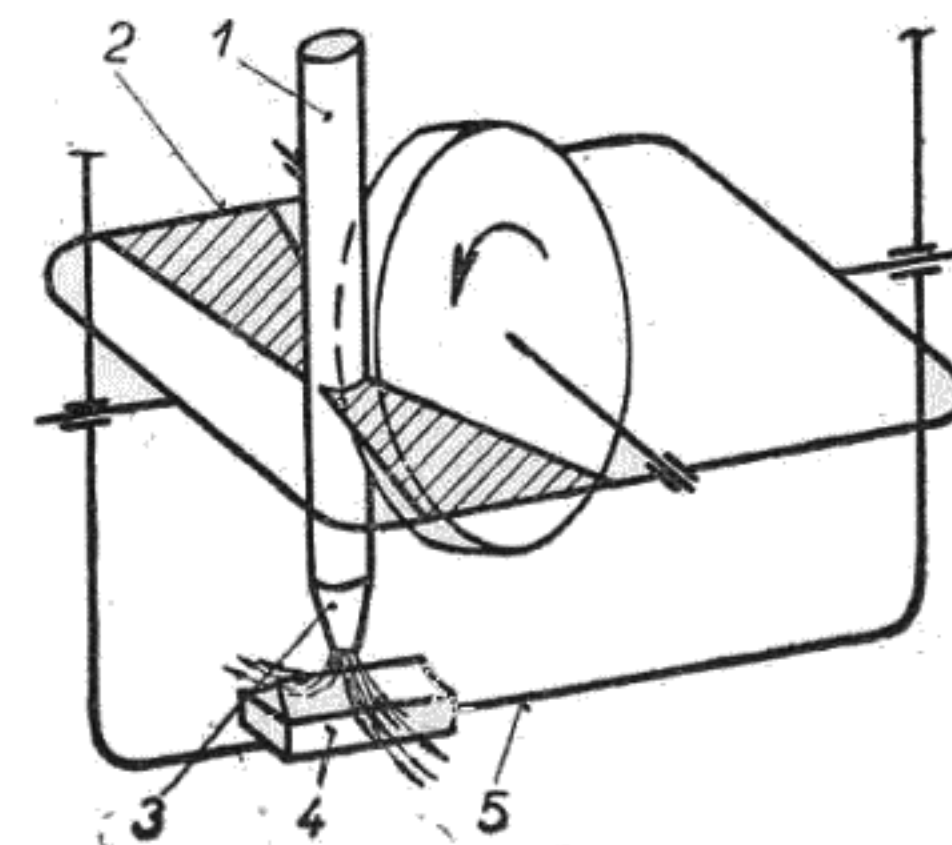


Obr. 12.3. Umístění kompenzačního závažíčka na vnitřním rámečku.

Umístění závažíčka na vnitřním rámečku je zřejmé z obrázku 12.3.

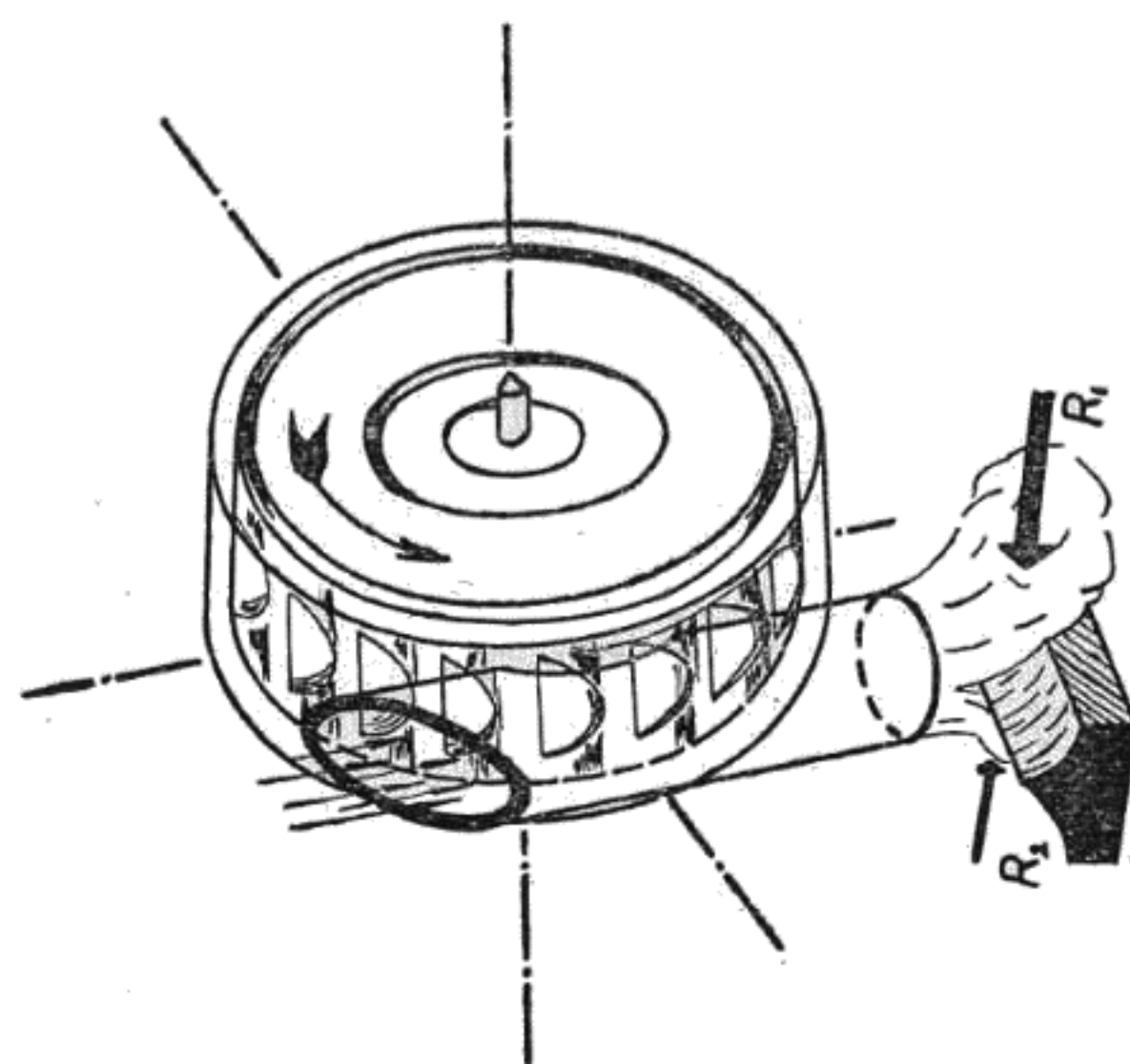
Váha závažíčka způsobí naklání vnitřního rámečku kolem osy o_1 a tím vznikne precesní pohyb setrvačníku kolem osy o_2 , tedy i natáčení vnějšího rámečku spolu s kursovou stupnicí. Váha závažíčka se volí taková, aby pro určitou zeměpisnou šířku (ve které se přístroj používá) precesní pohyb setrvačníku odpovídal úhlové rychlosti otáčení Země a aby tak vliv otáčení Země byl kompenzován.

Řekli jsme si již, že vnitřní rámeček nezachovává vlivem tření v ložiskách uložení setrvačníku a nevyvážením vnitřního rámečku svou polohu kolmo k rovině vnějšího rámečku. Proto musí být přístroj vybaven dalším korekčním zařízením, které by vzniklé chyby ve vzájemné poloze rovin vnějšího a vnitřního rámečku kompenzovalo.

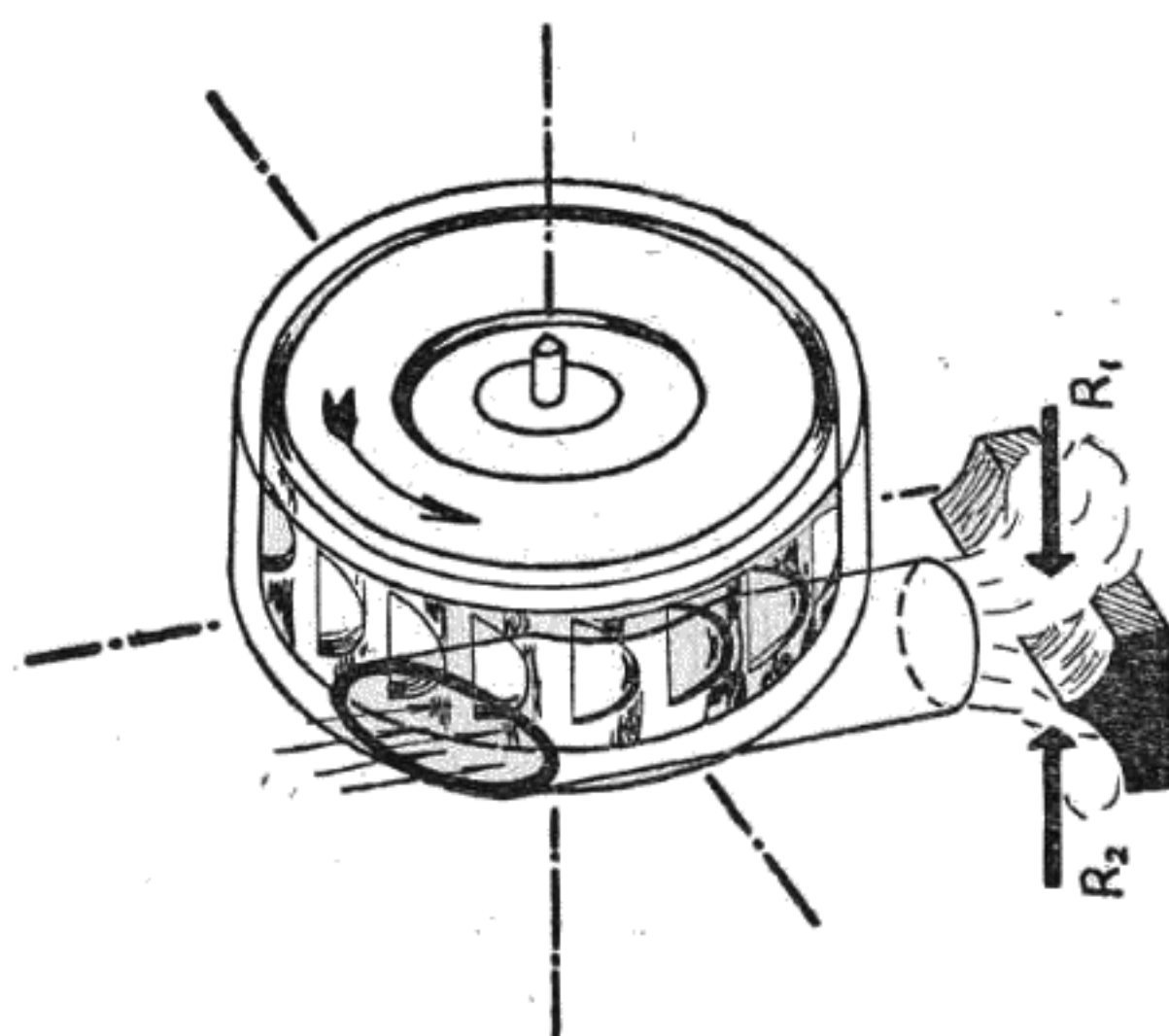


Obr. 12.4. Korekční zařízení pro dodržení vzájemné kolmosti vnitřního a vnějšího rámečku.

1 – trubice přívodu vzduchu, 2 – vnitřní rámeček, 3 – tryska, 4 – břit hranolu, 5 – vnější rámeček.



Obr. 12.6. Při vzájemném vychýlení rámečků nastane nerovnováha (reakce R_1 je větší než reakce R_2). To způsobí návrat setrvačníku do původní polohy vlivem precesního pohybu.



Obr. 12.5. Jsou-li roviny rámečků na sebe kolmé, jsou reakce R_1 a R_2 stejné.

Funkci tohoto korekčního zařízení si vysvětlíme v následujících obrázcích. Trubkou 1, uchycenou na vnitřním rámečku 2, přivádí se vzduch do trysky 3, ze které proudí na břit hranolu 4. Hranol 4 je uchycen na vnějším rámečku 5.

Je-li rovina vnitřního rámečku přesně kolmo k rovině vnějšího rámečku, rozděljuje se proud z trysky o břit hranolu přesně na dvě stejné části, a tím vznikají dvě stejně velké reakce R_1 a R_2 , jejichž účinek se navzájem ruší. (Obr. 12.5).

Vychýlí-li se rovina vnitřního rámečku ze své polohy kolmo k rovině vnějšího rámečku, vychýlí se i tryska, takže proud vzduchu z ní vytékající se rozdělí o břit hranolu nerovnoměrně. Reakce R_1 je větší než reakce R_2 a rozdíl reakcí způsobí precesní pohyb setrvačníku, který navrácí vnitřní rámeček do správné polohy, tj. kolmo k rovině vnějšího rámečku. (Obr. 12.6).

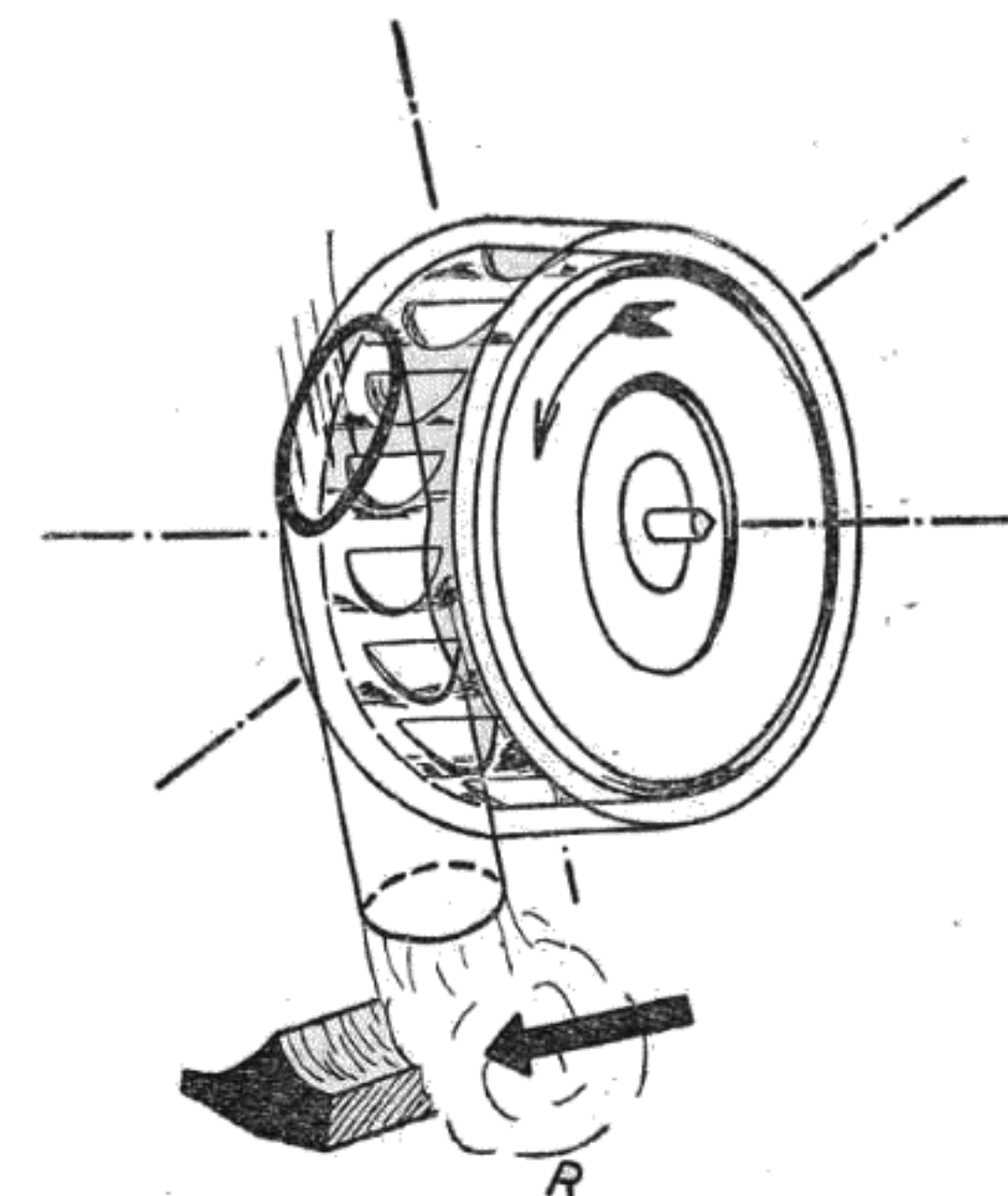
Při návratu vnitřního rámečku se zmenšuje výchylka trysky proti břitu hranolu, rozdíl reakcí R_1 a R_2 se stále zmenšuje, až při dosažení správné vzájemné polohy rámečků nastane rovnováha.

Je zřejmé, že čím více se vnitřní rámeček proti vnějšímu rámečku vychýlí, tím větší bude i síla (rozdíl reakcí), způsobující návrat roviny vnitřního rámečku do správné polohy, tj. kolmo k rovině vnějšího rámečku.

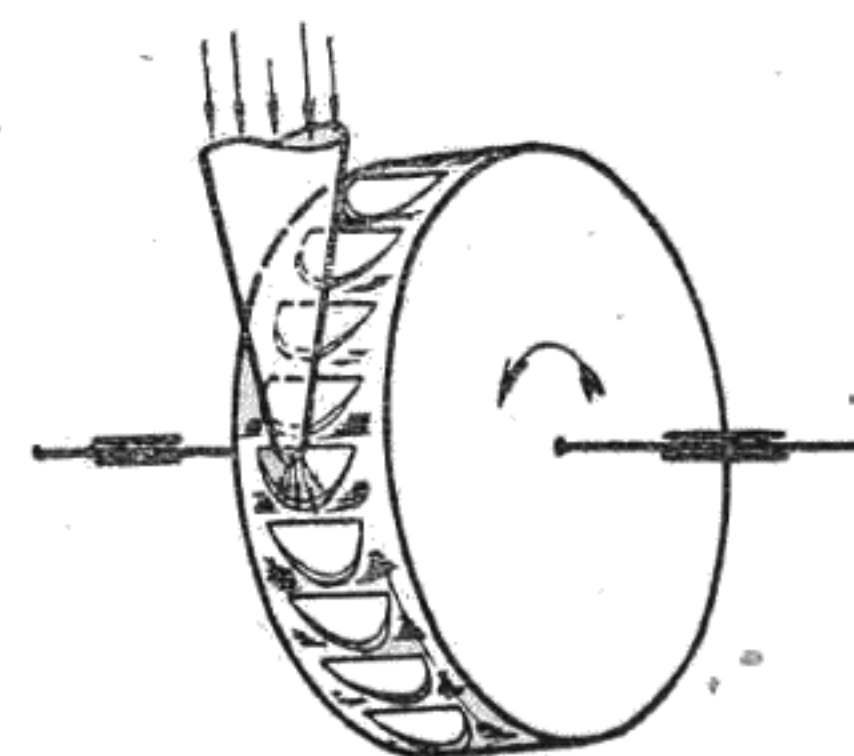
Maximální případ nastane tehdy, když všechen vzduch z trysky bude směřovat jen na jednu stranu břitu, tj. když se vnitřní rámeček nějakým způsobem značně vychýlí z normální polohy. Tento případ je znázorněn na obrázku 12.7.

U přístroje s pneumatickým pohonem setrvačníku je setrvačník roztáčen proudem vzduchu, který je nasáván zvenčí přístroje přes čistič (sítka) a je veden do trysky, která ústí proti kapsovitému vybrání na obvodu setrvačníku.

Vzduch je z pouzdra přístroje odsáván buď vývěvou, nebo dvojitou Venturiho trubicí. Potřebný podtlak je asi



Obr. 12.7. Setrvačník je značně vychýlen.

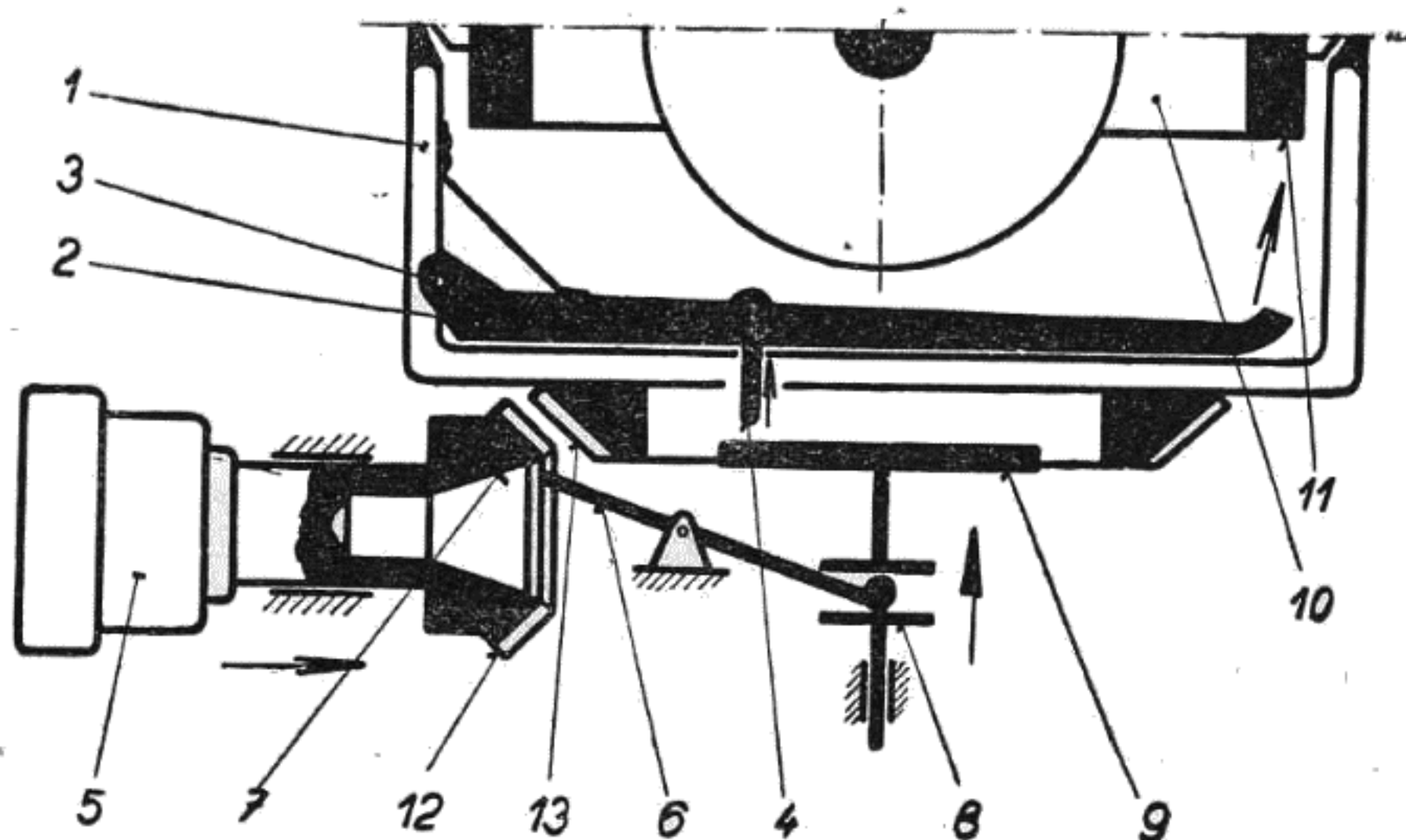


Obr. 12.8. Schéma pneumatického pohonu setrvačníku.

1200 mm H_2O (1200 mm vodního sloupce). Otáčky setrvačníku jsou asi 10 000 otáček za minutu. Skutečné provedení je zřejmé z obr. 12.10.

U přístroje s elektrickým pohonem setrvačníku je setrvačník vytvořen jako rotor elektrického motoru, napájeného nejčastěji třífázovým napětím 3×36 voltů o frekvenci 500 c/s (u sovětských a nových československých přístrojů 400 c/s). Korekční zařízení je buď stejné jako u typu s pneumatickým pohonem setrvačníku, nebo se užívá natáčecích motorků, podobně jako u umělých horizontů.

Pohon setrvačníku je buď elektrický nebo pneumatický (stejně jako u zatačkoměru nebo umělého horizontu).



Obr. 12.9. Schéma nastavovacího zařízení.

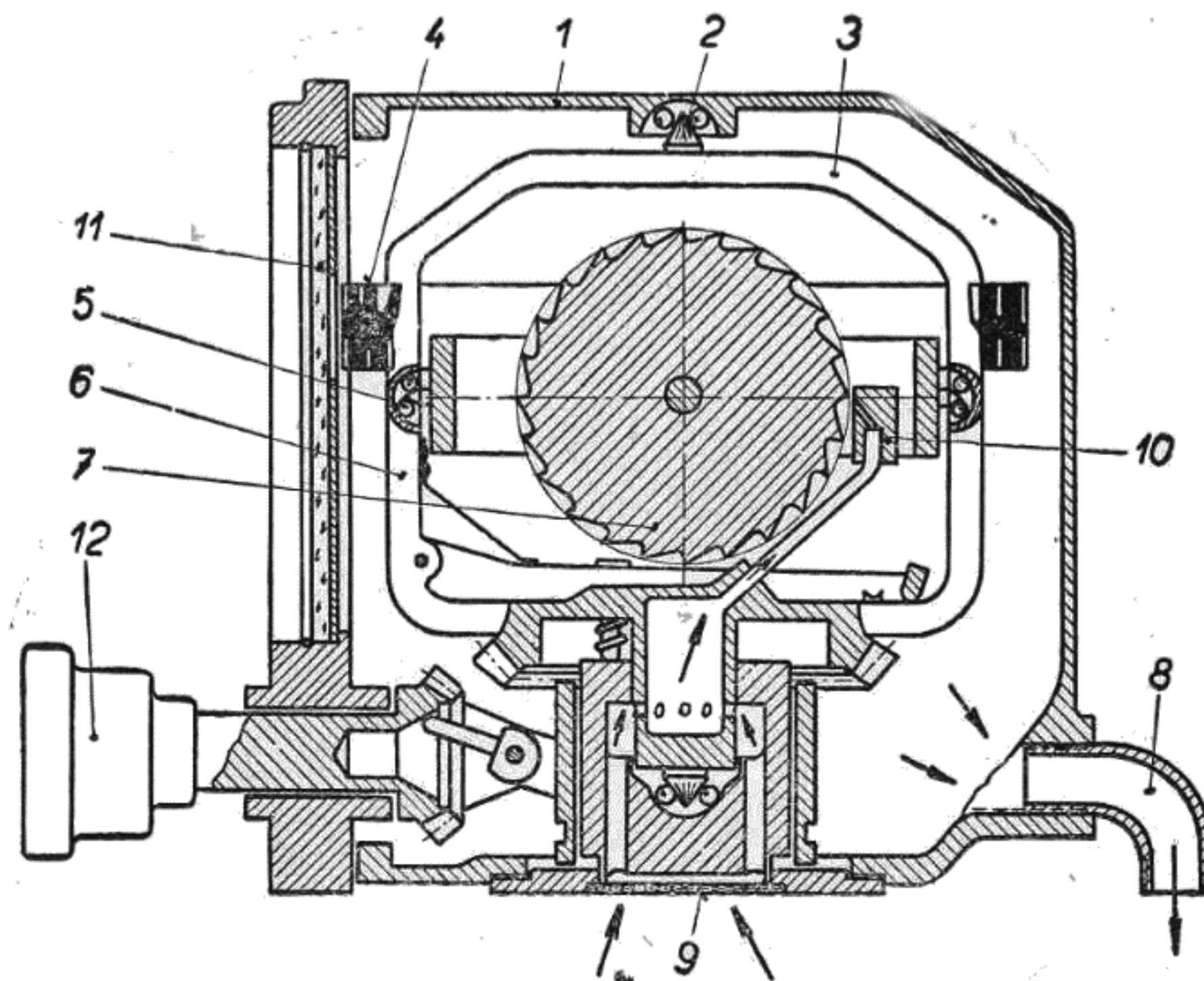
1 - vnější rámeček, 2 - páka, 3 - čep páky, 4 - kolík, 5 - nastavovací a aretační knoflík, 6 - vahadlo, 7 - kuželový vývrt, 8 - objímka, 9 - kotouč, 10 - vnitřní rámeček, 11 - místo dosednutí páky 2, 12 - kuželové ozubené kolo, 13 - kuželové ozubené kolo.

Aby se umožnilo natáčení vnějšího rámečku závěsu setrvačníku, tedy i kurzové stupnice podle údaje magnetického kompasu při spouštění přístroje, je přístroj vybaven nastavovacím zařízením.

Ve vertikálním (vnějším) rámečku závěsu 1 je na páce 2, otočné kolem čepu 3 kolík 4. Při zasunutí nastavovacího (a zároveň aretačního) knoflíku 5 směrem doprava (podle šipky v obrázku) je vahadlo 6 nuceno kuželovým vývrtem 7 nastavovacího knoflíku vychýlit se tak, že se volný (na obrázku pravý) konec vahadla pohybuje směrem nahoru a tím nutí objímku 8 a tím také s ní spojený kotouč 9, aby se vysouval nahoru. Kotouč 9 při vysunutí nadzvedne kolík 4 a tím i páku 2, která svým volným koncem dosedne na vnitřní rámeček závěsu 10 v místě 11. Tak je zaručeno, že při otáčení vnějším rá-

mečkem vlivem tím vzniklého precesního pohybu setrvačníku nedojde k poškození závěsu setrvačníku. V této poloze nastavovacího knoflíku 5 je také přístroj aretován.

Při zasunutí nastavovacího knoflíku 5 se dostanou do záběru kuželová ozubená kola 12 a 13, takže potom při otáčení nastavovacím



Obr. 12.10. Řez směrovým setrvačníkem s pneumatickým pohonem setrvačníku.

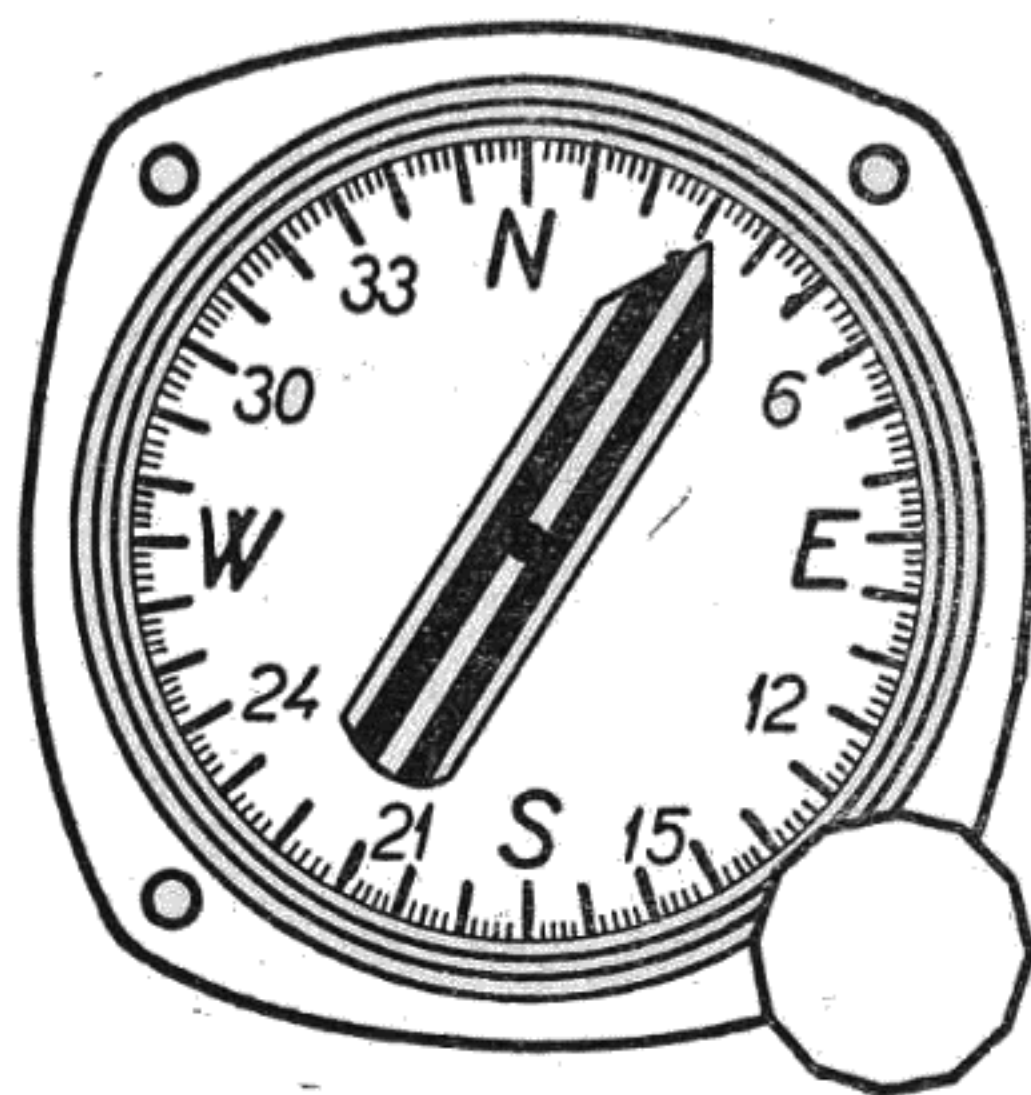
1 - pouzdro přístroje, 2 - ložiska vnějšího rámečku, 3 - vnější rámeček, 4 - kurzová stupnice, 5 - ložiska vnitřního rámečku, 6 - vnitřní rámeček, 7 - setrvačník, 8 - trubice, kterou se odsává vzduch z pouzdra přístroje, 9 - sítko v přívodu vzduchu, 10 - dýza, 11 - krycí sklo, 12 - nastavovací a aretační knoflík.

knoflíkem otáčíme celým vnějším rámečkem 1 a tedy i s ním pevně spojenou kurzovou stupnicí.

Nastavovacím knoflíkem otáčíme tak dlouho, až čteme proti ukazateli (v obrázku 12.1 označeného pozicí 9) stejný kurs, jaký ukazuje právě magnetický kompas. Je samozřejmé, že až po rozběhnutí setrvačníku.

V okamžiku, kdy souhlasí kurs na kurzové stupnici směrového setrvačníku s kursem, udávaným magnetickým kompasem (ovšem za rovnoměrného přímočarého letu), máme nastavenou osu otáčení

setrvačnicku přístroje přesně do směru sever – jih, což je pro činnost a užití směrového setrvačnicku základní podmínkou. Po nastavení kursu nastavovací knoflík 5 opět vysuneme, čímž uvolníme vnitřní rámeček (páka 2 se vrátí do spodní polohy) i vnější rámeček (ozubená



Obr. 12.11. Číselník směrového setrvačnicku československé výroby LUN 1272.

kola 12 a 13 se dostala ze záběru). Přístroj je připraven k použití.

Na obrázku 12.10 je řez směrovým setrvačnickem s pneumatickým pohonem setrvačnicku.

V pouzdru přístroje 1 je v ložiskách 2 uložen vnější rámeček 3 s kursovou stupnicí 4. Ve vnějším rámečku je v ložiskách 5 uložen vnitřní rámeček se setrvačnickem 7. Setrvačnick u tohoto typu směrového setrvačnicku je roztáčen proudem vzduchu. Je volen systém odsávání vzduchu z pouzdra přístroje (například dvojitou Venturiho trubicí). Vzduch proudí

tedy z prostoru kabiny letadla přes sítko 9 (kanály ve směru šipek v obrázku) do dýzy 10, která ústí proti kapsovitým vybráním na obvodu setrvačnicku, a potom z pouzdra přístroje ven trubicí 8.

Čelní deska přístroje (směrem k pilotovi) je na obrázku vlevo. V čelní desce je okénko, kryté sklem 11, na kterém je ryska, zastávající funkci ukazatele, proti níž odečítáme hodnoty kursu na kursové stupnici 4, která je okénkem viditelná. V dolní části čelní desky přístroje je nastavovací knoflík 12.

Na tomto obrázku si můžete zopakovat funkci nastavovacího zařízení a postup při nastavování kursové stupnice (podle popisu nastavovacího zařízení podle obrázku 12.9., který jsme si výše uvedli).

Pohled na čelní desku (číselník) nového směrového setrvačnicku československé výroby LUN 1272 je na obrázku 12.11.

Užití směrového setrvačnicku

Pro užití směrového setrvačnicku si zapamatujeme těchto několik hlavních zásad, kterých je nutno vždy dbát:

1. přístroj musíme spouštět za ustáleného horizontálního přímého letu (ustáleného údaje magnetického kompasu, podle kterého nastavení provádíme);

2. doba rozběhu elektricky poháněného setrvačnicku je 3 až 5 minut. Po celou tuto dobu musí být přístroj aretován a teprve po této době smí být provedeno nastavení kursu;

3. po letu delším než 20 minut musíme údaj směrového setrvačnicku zkontrolovat znovu s údajem magnetického kompasu, případně údaj směrového setrvačnicku opravit novým nastavením kursu;

4. provádíme-li akrobacii nebo také vždy při pohybu letadla po zemi musí být přístroj aretován.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Směrový setrvačnick (polokompas) je setrvačnickový přístroj, který nám slouží k určení kursu letadla při těch režimech letu, kdy je údaj magnetického kompasu zkreslený. Přístroje je možno použít jen ve spojení s magnetickým kompasem, podle kterého se údaj směrového setrvačnicku nastavuje a upravuje.

Základním elementem přístroje je setrvačnick s vodorovnou osou otáčení, směřující ve směru sever – jih. Setrvačnick je uložen v Kardanově závěsu. Na vnějším rámečku je uchycena kursová stupnice. Kurs odečítáme na kursové stupnici proti značce, pevně spojené s pouzdrum přístroje. Přístroj má korekční zařízení, vyrovnávající vliv otáčení Země na polohu osy otáčení setrvačnicku, které tvoří závažíčko na vnitřním rámečku závěsu. Další korekční zařízení, tvořené buď tryskou a břittem nebo nastavovacím motorkem udržuje rovinu vnitřního rámečku stále kolmo k rovině vnějšího rámečku.

Setrvačnick je roztáčen buď proudem vzduchu nebo elektricky. Přístroj nutno spouštět jen za horizontálního rovnoměrného letu a jeho údaj je nutno po každých asi 20 minutách letu opravovat podle magnetického kompasu.

Kontrolní otázky

1. Proč se směrovému setrvačnicku říká někdy polokompas?
2. Co je základním elementem přístroje a jak je uložen?
3. Jaký směr musí zachovávat osa setrvačnicku?
4. Proč je na vnitřním rámečku závěsu závažíčko?
5. K čemu slouží korekční zařízení, tvořené tryskou a břittem?
6. Jak vypadá zařízení pro nastavení žádaného kursu?
7. Čím přístroj aretujeme?
8. Jakých druhů pohonu setrvačnicku se používá?
9. Jak dlouho se setrvačnick rozbíhá?
10. Po jaké době letu musíme údaj přístroje korigovat?
11. Nakreslete čelní desku směrového setrvačnicku československé výroby LUN 1272!
12. Nač musíme pamatovat při prudkých obrazech nebo akrobacii, i když není přístroj v chodu?

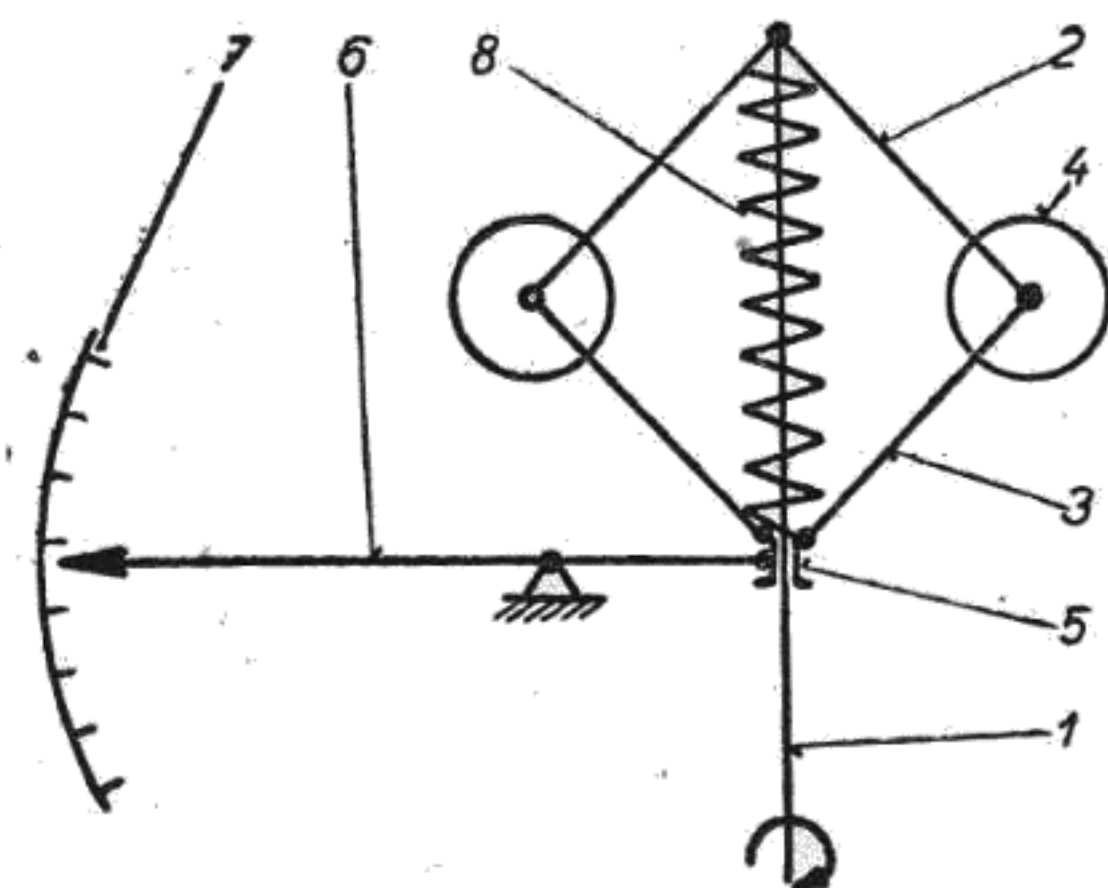
13. PŘÍSTROJE PRO KONTROLU CHODU MOTORU

Přesto, že s přístroji pro kontrolu chodu motoru nepřijde plachtař bezprostředně do styku, musí mít alespoň základní znalosti o této skupině palubních přístrojů.

Nejdůležitější přístroje, kterými se kontroluje chod leteckého (pístového) motoru jsou: otáčkoměr, tlakoměr oleje, teploměr oleje, tlakoměr paliva a palivoměr.

13.1. OTÁČKOMĚRY

Otáčkoměrem měříme otáčky klikového hřídele motoru, které jsou jednou z hlavních veličin, charakterizujících běh motoru a umožňujících posuzovat správnou činnost a do jisté míry i výkon motoru.



Obr. 13.1. Schéma odstředivého otáčkoměru.

1 - hřídelík, 2 - výkyvná ramena, 3 - výkyvná ramena, 4 - závažíčka, 5 - objímka, 6 - ručička, 7 - stupnice, 8 - direkční pružina.

Základní typy otáčkoměrů jsou: odstředivé, magnetické a elektrické. Podrobné popisy jednotlivých otáčkoměrů jsou uvedeny dále.

Hřídel otáčkoměru se zpravidla nahání od vačkového hřídele motoru přes převod do poměru 1 : 2. Přístroj však ukazuje přímo otáčky klikového hřídele motoru.

U proudových motorů jsou otáčky motoru redukovány převodem 4:1 již přímo na motoru.

Otáčky leteckého motoru měříme v ot/min (v otáčkách za jednu minutu).

Odstředivý otáčkoměr

Jeho schéma je zřejmé z obrázku 13.1.

Na hřídelíku 1, naháněném od motoru, jsou na výkyvných ramenech 2 a 3 uchycena závažíčka 4. Ramena 2 jsou na hřídelíku uložena kloubově, ramena 3 jsou na hřídelíku 1 uložena v objímce 5. Objímka 5 se může po hřídelíku 1 posouvat. Pohyb objímky se přenáší na ručičku přístroje 6, která ukazuje na stupnici 7. 8 je direkční pružina.

Za klidu jsou závažíčka 4 poblíž hřídelky, jak ukazuje obrázek 13.2.

V této poloze jsou závažíčka 4 držena tím, že direkční pružina 8 tlačí objímku 5 do spodní polohy. Ručička přístroje 6 ukazuje nulu.

Otáčí-li se hřídelík 1, vychýlí se závažíčka 4 vlivem odstředivé síly do určité polohy, kterou dovolí direkční pružina 8. Tento případ vidíme na obrázku 13.3.

Odstředivá síla je v obrázku 13.3 označena 0.

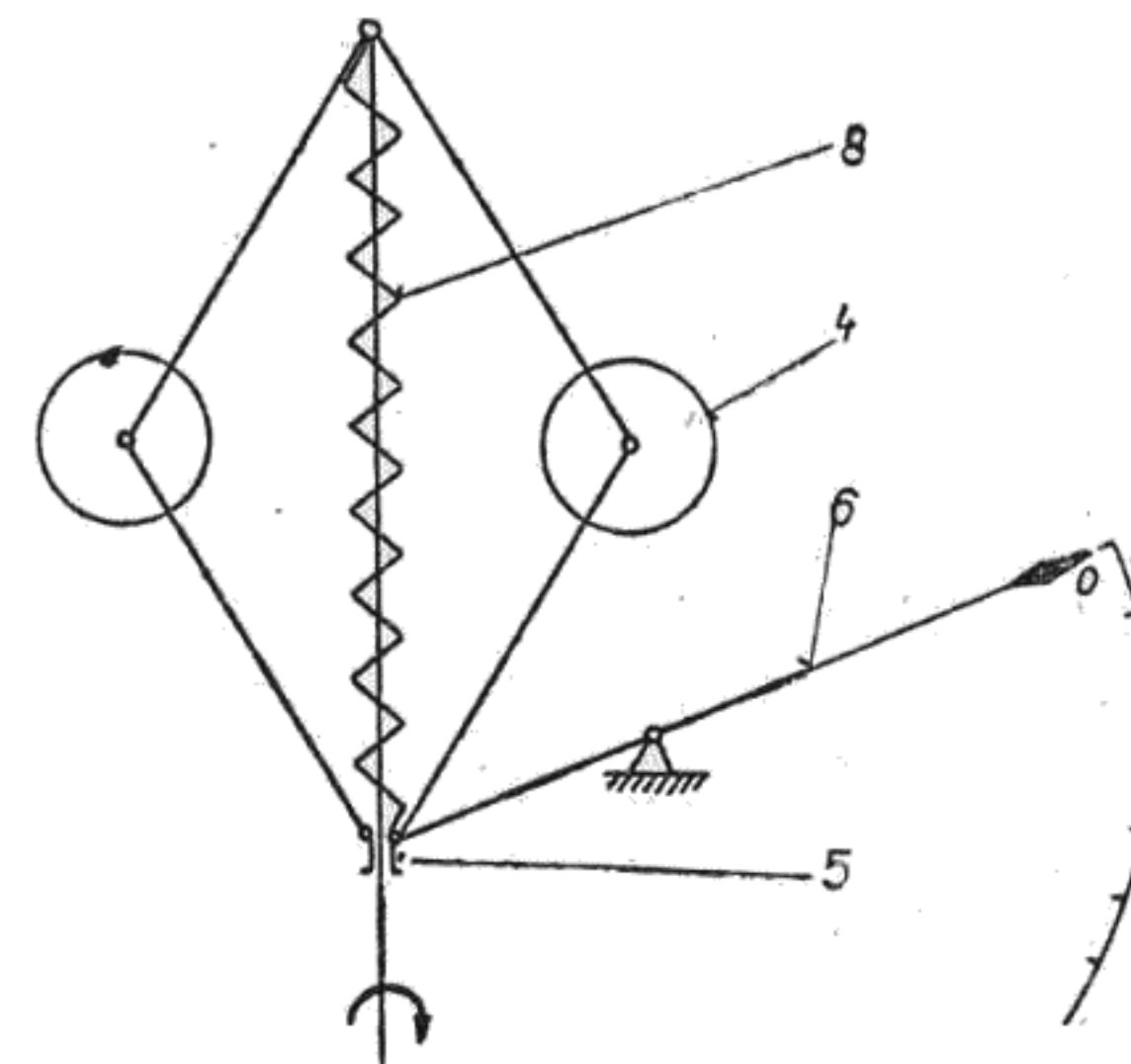
Ručička přístroje 6 ukáže na stupnici příslušné otáčky.

Je zřejmé, že rozsah přístroje, jeho citlivost, jsou určeny nejen velikostí závažíček, ale také tuhostí direkční pružiny.

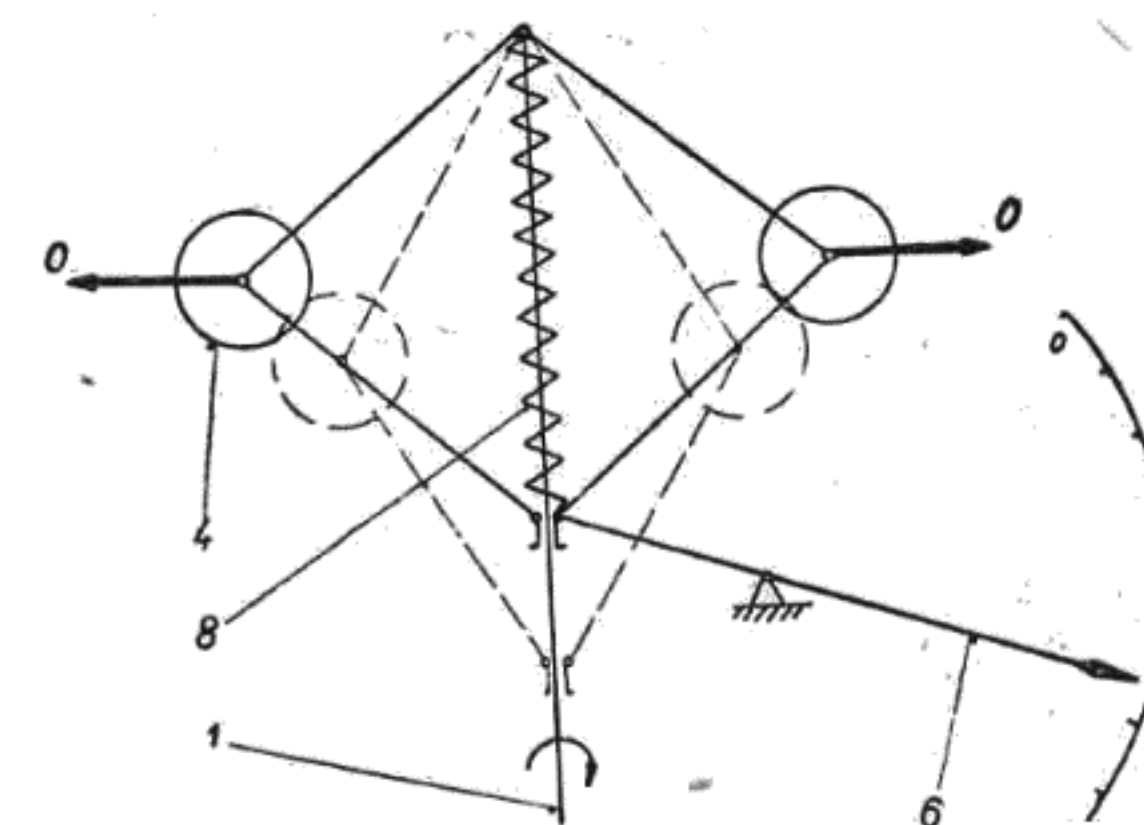
Popsaný typ otáčkoměru je sice v praxi spolehlivý, ale pro jeho značnou váhu se ho již téměř nepoužívá.

Na obrázku 13.4 je pohled na číselník odstředivého otáčkoměru (který se samozřejmě v ničem neliší od číselníků ostatních typů otáčkoměrů).

Rozsah stupnice uvedeného přístroje je, jak vidíme z obrázku, 500 ÷ 2400 ot/min. Hodnoty stupnice jsou pro přehlednost 100 × menší, což je na spodní části číselníku uvedeno. Označení v horní části čí-



Obr. 13.2. Za klidu jsou závažíčka poblíž hřídelky. 4 - závažíčka, 5 - objímka, 6 - ručička, 8 - direkční pružina



Obr. 13.3. Otáčí-li se hřídelík, vychýlí se závažíčka působením odstředivé síly.

1 - hřídelík, 4 - závažíčka, 6 - ručička, 8 - direkční pružina.

selsníku 1 : 2 udává, že náhon přístroje je možno přímo připojit na vývodku od vačkového hřídele motoru, protože převod 1 : 2 na otáčky klikového hřídele, které měříme, je proveden přímo v přístroji cejchováním stupnice v otáčkách klikového hřídele.



Obr. 13.4. Číselník odstředivého otáčkoměru.

nezakreslenou). S válcem 4 je pevně spojena ručička přístroje 6, ukazující na stupnici 7. Soustředně s válcem 4 a permanentním magnetem 3 je na kotouči 2 uchycen šikmo seříznutý válec 8, který slouží pro seřízení průběhu stupnice přístroje (změnou seřiznutí) při cejchování stupnice v továrně.

Otáčí-li se magnet 3, spojený s kotoučem 2, unáší vířivé proudy válec 4 a vychýlí ho ze základní polohy tak daleko, jak dovolí směrná pružina, ve směru otáčení permanentního magnetu. Válec 4 se tedy nebude otáčet, ale pouze se natočí a spolu s ním se natočí i ručička přístroje 6. Ručička 6 ukáže na stupnici 7 přímo otáčky motoru, protože stupnice přístroje je v otáčkách motoru cejchována.

Z popisu funkce tohoto typu otáčkoměru vyplývá, že je poměrně jednoduchý, nevyžaduje žádných pomocných zdrojů energie (například elektrické apod.).

Nutno však připomenout, že magnetický otáčkoměr funguje jen pro jeden smysl otáčení.

Hřídel otáčkoměru nahání ohebná hřídel od vačkového hřídele motoru.

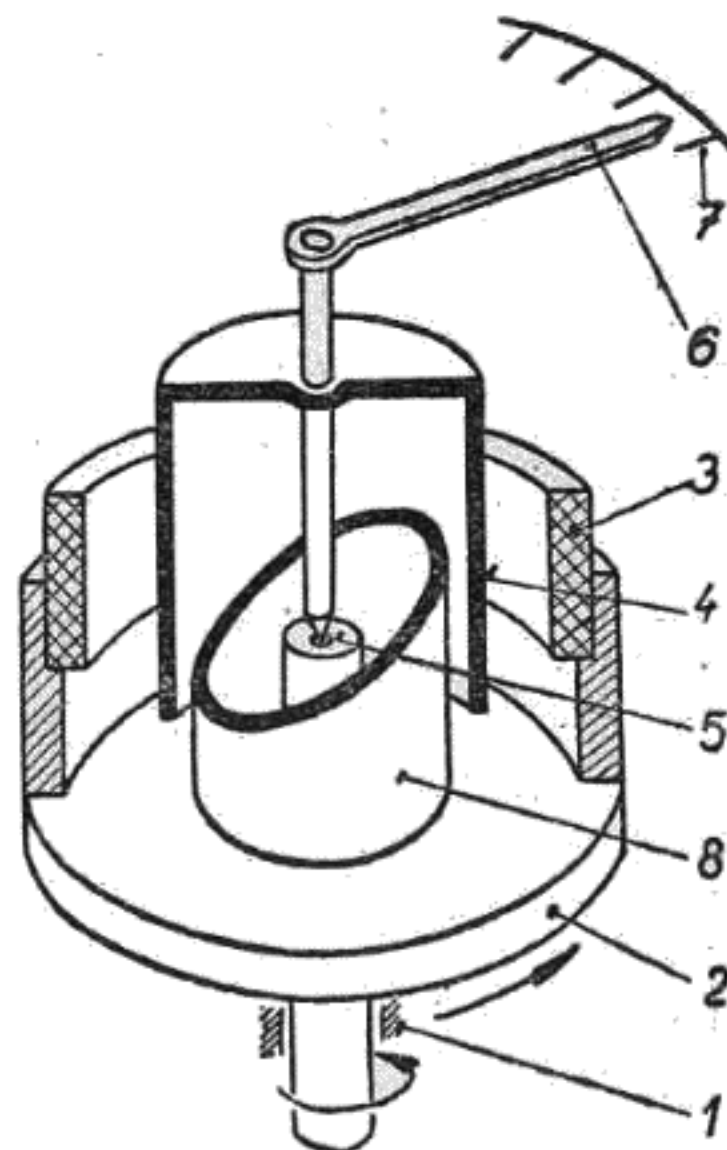
Číselník magnetického otáčkoměru je obdobný jako číselník odstředivého otáčkoměru.

Rozměry a váha magnetického otáčkoměru jsou značně menší než u odstředivého otáčkoměru.

U popsaných typů otáčkoměrů, tj. odstředivého a magnetického s mechanickým náho-

Magnetický otáčkoměr

Jeho princip si vysvětlíme na obrázku 13.5. V ložiskách pouzdra přístroje 1 se otáčí kotouč 2, naháněný od motoru. Na kotouči 2 je uchycen permanentní magnet 3 ve tvaru rozříznutého prstenu. Těsně u permanentního magnetu 3 se pohybuje válec se dnem z lehkého kovu (hliníku) 4. Válec 4 se může volně otáčet kolem osy v ložisku 5 a je držen v základní poloze směrnou pružinou (v obrázku

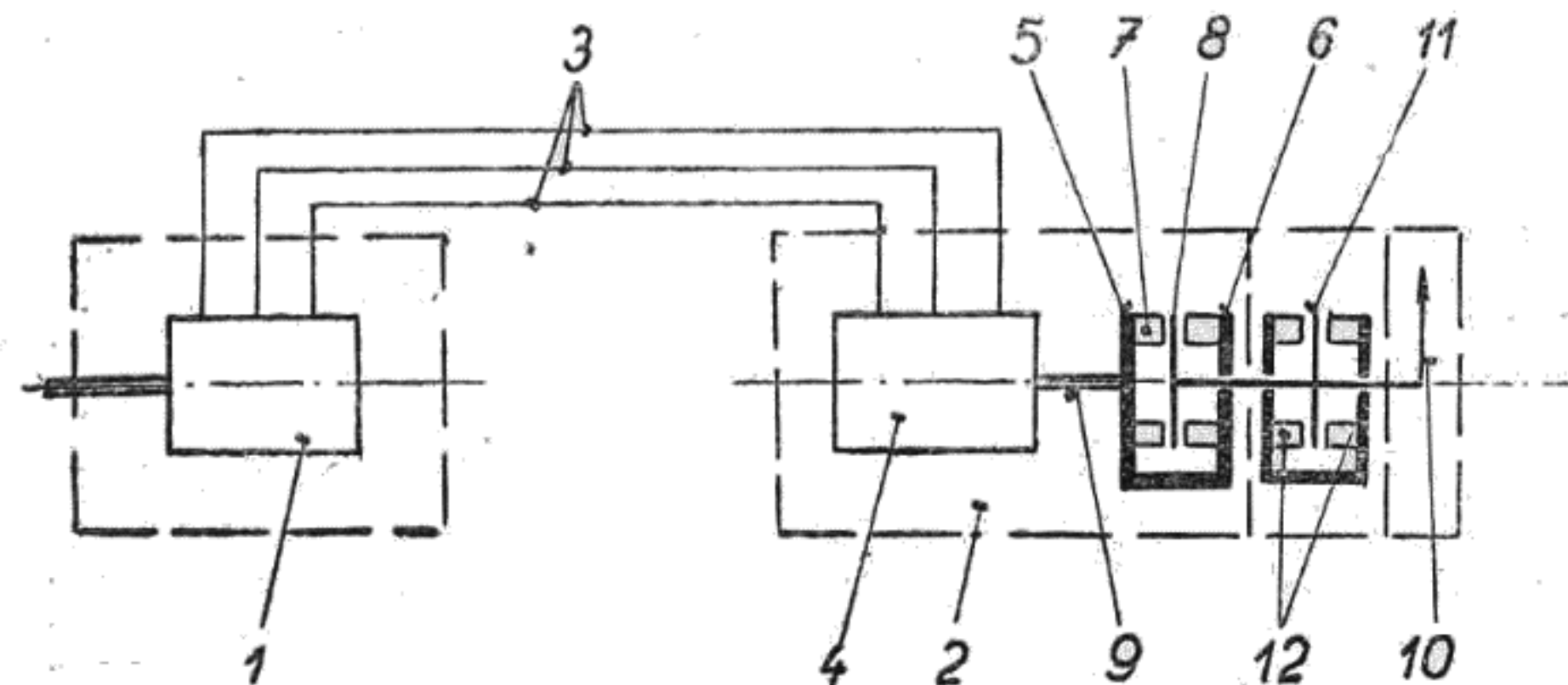


Obr. 13.5. Schéma magnetického otáčkoměru.

1 - pouzdro přístroje, 2 - kotouč, 3 - permanentní magnet, 4 - válec z lehkého kovu, 5 - ložisko, 6 - ručička, 7 - stupnice, 8 - šikmo seříznutý válec.

nem ohebnou hřídelí, je náhon od motoru prováděn ohebnou hřídelí a proto jejich užití je omezeno určitou maximální možnou vzdáleností motoru od palubní desky. Zvláště u vícemotorových letadel, kde je tato vzdálenost několik metrů (u dopravních letadel i několik desítek metrů), nelze popsaných typů otáčkoměrů užit.

Pro takové případy a v moderní době stále častěji i pro ostatní případy (pro kratší vzdálenosti mezi motorem a palubní deskou) se užívá buď dálkového magnetického otáčkoměru, nebo některého jiného způsobu dálkového přenosu, které si dále uvedeme.



Obr. 13.6. Magnetický otáčkoměr s dálkovým přenosem údaje.

1 - vysílač, 2 - ukazovací přístroj, 3 - dálkové elektrické vedení, 4 - synchronní motorek ukazovacího přístroje, 5 a 6 - desky spojené s hřídelí synchronního motorku, 7 - permanentní magnety, 8 - kotouč z lehkého kovu, 9 - hřídelka, 10 - ručička, 11 - kotouč tlumení, 12 - permanentní magnety tlumení.

Magnetický otáčkoměr s dálkovým přenosem

Na obrázku 13.6 je nakresleno schéma tohoto typu otáčkoměru.

Základní dvě části dálkového magnetického otáčkoměru jsou vysílač 1 a ukazovací přístroj 2.

Vysílač je tvořen synchronním generátorkem a je připojen ke hřídeli, jejíž otáčky snímáme. Dálkové elektrické vedení 3 jej spojuje s ukazatelem 2, který je na palubní desce. Prvním článkem ukazatele 2 je synchronní motorek 4, který se otáčí stejnými otáčkami, jako má synchronní generátorek vysílače 1. S hřídelem 9 synchronního motorku 4 jsou pevně spojeny dvě desky 5 a 6, na kterých je šest permanentních magnetů 7. Čím rychleji se otáčí synchronní motorek 4 a tedy i desky 5 a 6, tím více je vířivými proudy unášen kotouč z lehkého kovu (hliníku) 8. S kotoučem 8 je hřídelkou pevně spojena ručička přístroje 10. Na hřídelce ručičky je nasazen druhý kotouč z lehkého kovu 11, který se natáčí v poli dalších permanentních magnetů 12 a tvoří tak tlumení pohybu ručičky přístroje, aby údaj ručičky byl klidný.

Dálkový elektrický přenos údaje

V poslední části minulého odstavce jsme si popsali jeden typ dálkového přenosu údaje otáčkoměru, a to dálkový magnetický otáčkoměr. Proberme si nyní všeobecně možnosti dálkového přenosu údaje otáčkoměru.

Pro dálkový přenos údaje otáčkoměru se nejčastěji užívá tři systémů, které si nyní probereme.

a) Synchronní generátorek a synchronní motorek

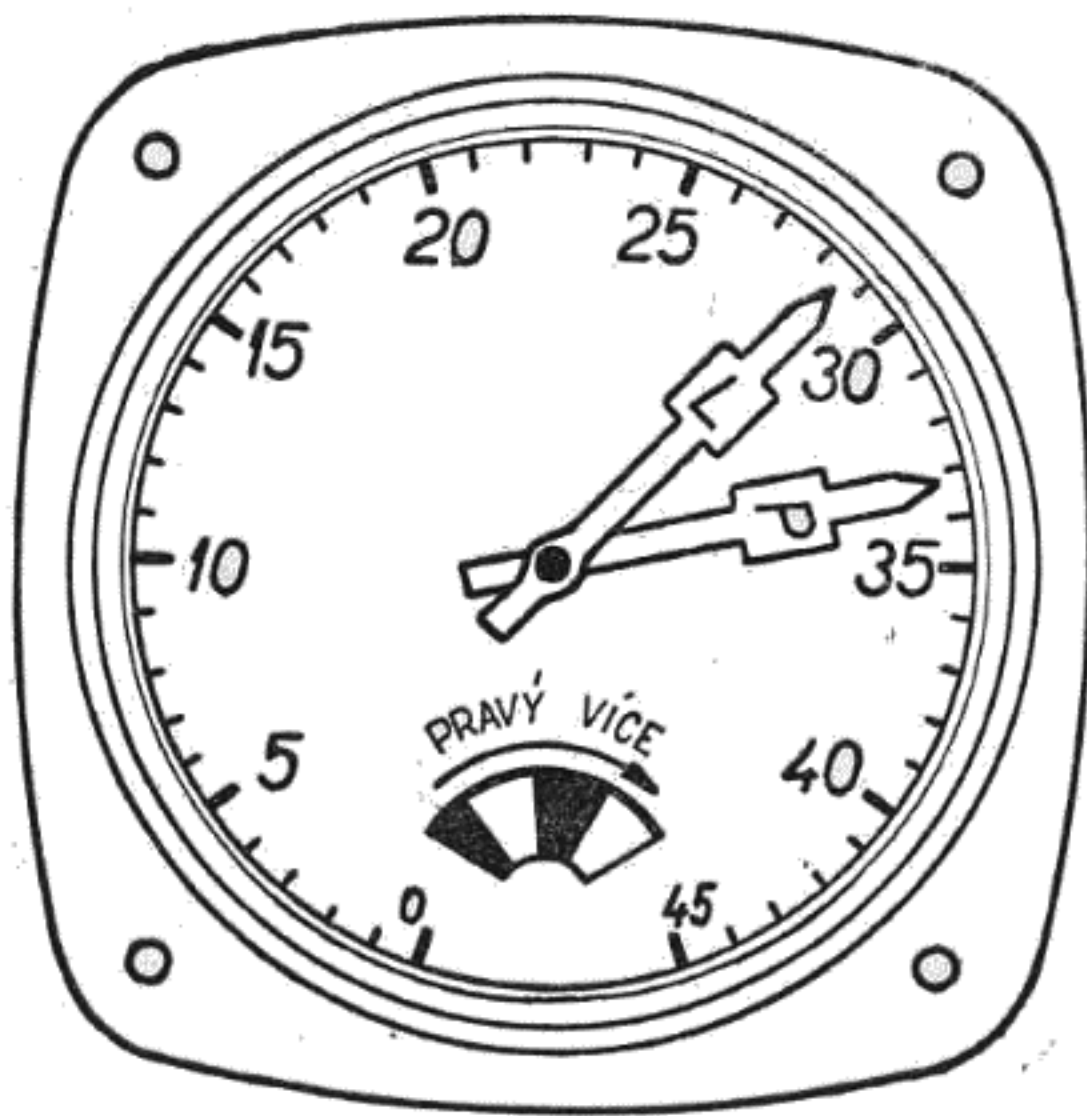
Synchronní motorek v ukazateli na palubní desce je napájen synchronním generátorkem ve vysílači, umístěném na motoru letadla. Ukazatelem, měřičem otáček, je potom například magnetický otáčkoměr, jak jsme si uvedli v závěru minulého odstavce. Vysílač s ukazatelem spojuje elektrický kabel, takže vzdálenost mezi vysílačem na motoru letadla a ukazatelem na palubní desce může být libovolná.

b) Dynamko a voltmetr

Ve vysílači na motoru letadla je dynamko, jehož rotor je poháněn například od vačkového hřídele motoru. Dynamko vyrábí stejnosměrný proud, jehož napětí je úměrné otáčkám rotoru dynamka, tedy i otáčkám motoru letadla. Ukazovací přístroj na palubní desce, který je spojen s vysílačem pouze elektrickým kabelem, je voltmetr, jehož stupnice je cejchována v otáčkách motoru (ot/min).

c) Střídavý generátorek, usměrňovač a ampérmetr

Ve vysílači na motoru letadla je střídavý generátorek (alternátorek), jehož výstupní proud je úměrný otáčkám rotoru generátorku, tedy i otáčkám motoru letadla. Střídavý proud ze střídavého generátorku usměrňuje usměrňovač a je veden elektrickým kabelem do ukazatele. Ukazatel tvoří ampérmetr, jehož stupnice je cejchována přímo v ot/min (otáčkách motoru letadla).



Obr. 13.7. Číselník dvojnásobného otáčkoměru se synchronoskopem.

Touto metodou se měří otáčky motorů nebo vrtulí ve zkušebně.

U vícemotorových letadel se užívá obdobného přístroje, tzv. synchronoskopu, který slouží k nastavení přesně stejných otáček obou motorů u dvumotorového

letadla, nebo obou vnitřních motorů a jiným přístrojem obou vnějších motorů u čtyřmotorového letadla.

U synchronoskopu se nejčastěji mechanicky porovnávají otáčky obou motorů a radiálně pruho vaný kotouč synchronoskopu, který je viditelný v okénku číselníku otáčkoměru, buď stojí nebo se otáčí v určitém smyslu. Stojí-li kotouč synchronoskopu, jsou otáčky obou motorů stejné. Pohybuje-li se například vpravo (ve smyslu pohybu hodinových ručiček), jsou otáčky levého motoru menší, než otáčky pravého motoru. Otáčí-li se vlevo, tj. proti smyslu pohybu hodinových ručiček, jsou otáčky levého motoru větší než otáčky pravého motoru.

Na obrázku 13.7 je čelní deska dvojnásobného otáčkoměru, každá ručička ukazuje na stupnici otáčky jednoho motoru. Ručička označená „L“ ukazuje otáčky levého motoru, ručička označená „P“ ukazuje otáčky pravého motoru.

Ve spodní části číselníku přístroje je výřez, kterým je vidět kotouč synchronoskopu.

Pro doplnění si uvedme ještě pohled na číselník jednoduchého magnetického otáčkoměru s dálkovým přenosem.

Pro názor uvedme si ještě některé charakteristické otáčky motoru Walter Minor 4-III, kterého se zatím v letadlech Svazarmu nejvíce používá.

Otáčky motoru po spuštění	600 ÷ 1000 ot/min
Otáčky motoru při letu cestovní rychlostí při 75% výkonu motoru = 80 koní	2300 ot/min
Maximální otáčky motoru při plném výkonu = = 105 koní	2500 ot/min
Maximální přípustné otáčky motoru v letu střemhlav	2750 ot/min

Otáčky motoru jsou odebírány u olejové pumpy motoru. Převod na otáčkoměr je 2 : 1.

13.2. TLAKOMĚRY

Tlakoměr oleje

Pro správnou činnost motoru je nezbytné dostatečné mazání všech jeho otočných částí. K tomu je nutná nejen dostatečná zásoba mazacího oleje, ale také dostatečný tlak oleje, aby bylo zajištěno, že olej pronikne bezpečně do všech mazacích míst. Proto je do olejové instalace motoru zařazen vždy tlakoměr oleje.

Základním elementem tlakoměru oleje je většinou Bourdonovo pero.



Obr. 13.8. Číselník magnetického otáčkoměru s dálkovým přenosem údaje.

Tvar Bourdonova pera je zřejmý z obrázku 13.9.

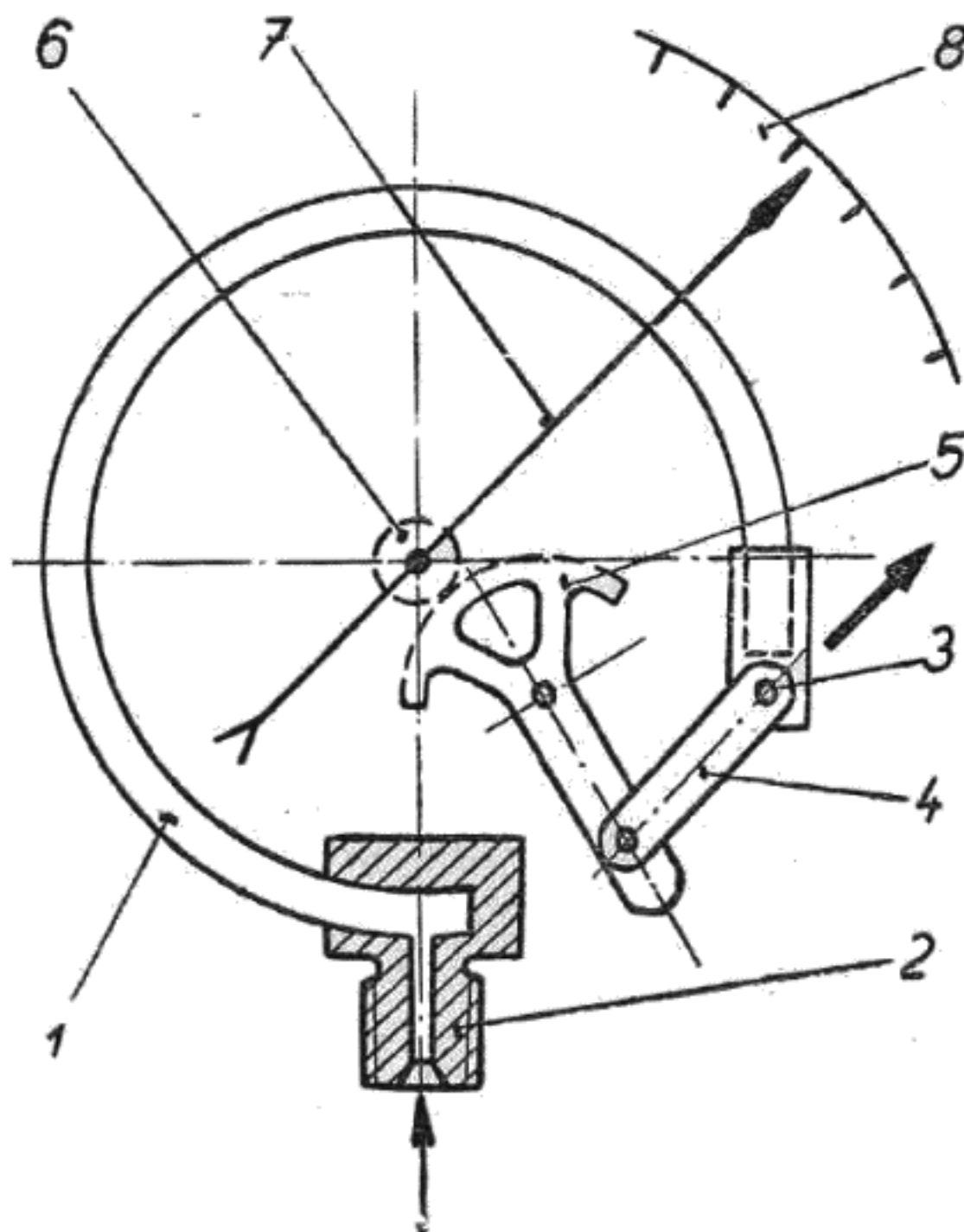
Bourdonovo pero tvoří zahnutá kovová trubice oválného průřezu, jaký je na detailním obrázku vpravo v obrázku 13.9 vyznačen plnou čarou. Spojíme-li vývod trubice s olejovým potrubím, zaplní se trubice olejem a budeme-li zvyšovat tlak v potrubí, bude se zároveň zvyšovat i tlak v trubici Bourdonova pera. Při zvyšování tlaku bude se oválný průřez trubice měnit ve více kruhový (jak vidíme v řezu v obrázku 13.9 z čárkovaného tvaru), což má za následek, že trubice se začne napřimovat. Při zvyšování tlaku v trubici se tedy bude zvětšovat rozměr „b“ a zmenšovat rozměr „a“, označené v detailním obrázku v obrázku 13.9. Pohyb volného konce trubice při změ-

Obr. 13.9. Bourdonovo pero.

nách tlaku se potom převodem přenáší na ručičku, jak vidíme z obrázku 13.10.

Do Bourdonova pera 1 se přivádí přívodem 2 tlak. Při zvyšování tlaku napřimuje se trubice vlivem toho, že se oválný průřez více vydouvá. Volný konec pera, označený 3 se tedy pohybuje ve směru šipky. Tím se pohybuje táhlo 4, které přes hrabici 5 nahání pastorek ručičky 6 a tím i ručičku 7, která ukazuje na stupnici 8. Při zvyšování tlaku pohybuje se ručička přístroje ve směru pohybu hodinových ručiček. Stupnice přístroje 8 je cejchována přímo v jednotkách tlaku, například, a to nejčastěji, v kg/cm^2 .

Aby se zabránilo ztrátám oleje při porušení tlakoměru, užívá se někdy převáděcího relé, zřejmého z obrázku 13.11. Olej z motoru se přivádí šroubením ve směru šipky do prostoru relé, označeného 1. V tomto prostoru je umístěna membrána (nebo tlakoměrná krabice jako na obrázku 13.11) označená 2. Vnitřní prostor tlakoměrné krabice je potrubím o ma-



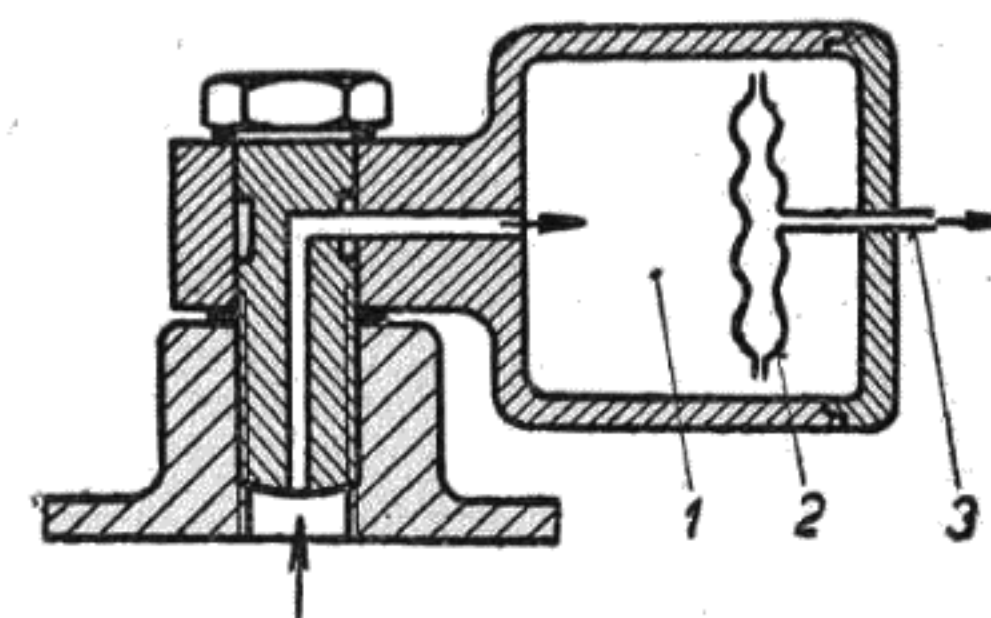
Obr. 13.10. Schéma tlakoměru s Bourdonovým perem.
1 – trubice Bourdonova pera, 2 – přívod tlaku, 3 – volný konec pera, 4 – táhlo, 5 – hrabice, 6 – pastorek ručičky, 7 – ručička, 8 – stupnice.

lém průřezu, nazývaným kapilára 3, vyplněným převáděcí kapalinou (toluol nebo ligroin), vyveden do Bourdonova pera vlastního tlakoměru na palubní desce letadla. Při změně tlaku oleje v potrubí olejové instalace změní se tlak v pouzdru relé 1 a tlakoměrná krabice 2 se deformuje. Tím dojde ke změně tlaku převáděcí kapaliny, odváděné z tlakoměrné krabice 2 ve směru šipky a tlakoměr ukáže změnu tlaku. Stupnice ukazovacího přístroje je ovšem cejchována v tlaku oleje olejové instalace motoru.

Při poruše potrubí přístroje (kapiláry) vyteče jen přenosová kapalina a zásoba oleje tím není nikterak ohrožena.

Pro názor uvedme si provozní tlaky oleje pro letecký motor Walter Minor 4-III:

minimální přípustný tlak oleje: 2 kg/cm^2
provozní tlak oleje: $3 \div 4 \text{ kg/cm}^2$.

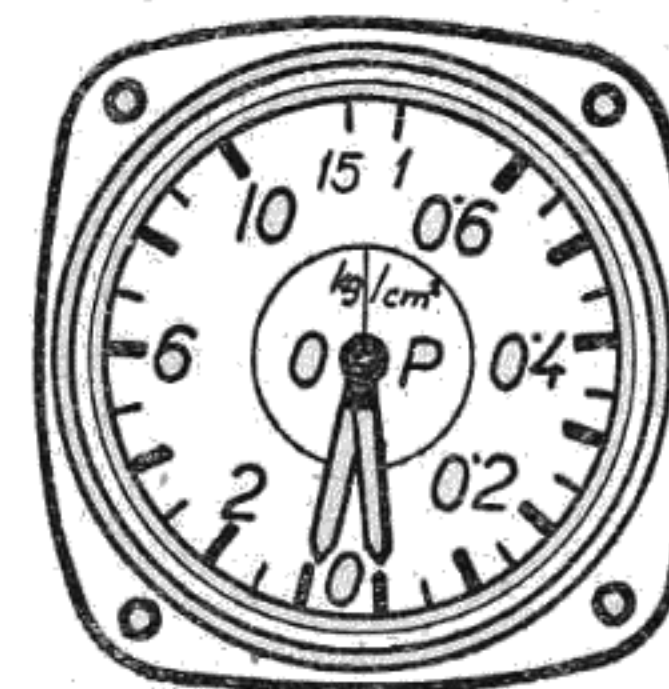


Obr. 13.11. Převáděcí relé.

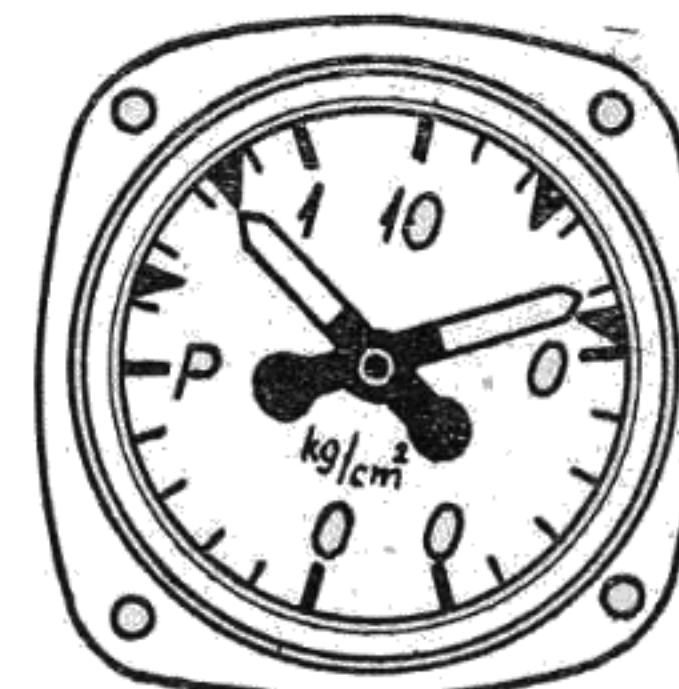
1 – prostor relé, 2 – tlakoměrná krabice, 3 – kapilára.

Tlak oleje je u motoru Walter Minor 4-III odebrán (u letounu C-105) za olejovým tlačným čerpadlem před ústím do klikové skříně motoru.

Na závěr se podívejme, jak vypadá číselník tlakoměru oleje. Tlakoměr oleje se většinou kombinuje s tlakoměrem paliva v kombinovaný přístroj.



Obr. 13.12. Číselník kombinovaného tlakoměru (oleje a paliva).



Obr. 13.13. Číselník kombinovaného tlakoměru (paliva a oleje)

Na obrázku 13.12 je číselník kombinovaného tlakoměru. Vlevo je stupnice tlakoměru oleje s rozsahem $0 \div 15 \text{ kg/cm}^2$, vpravo je stupnice tlakoměru paliva, který si popíšeme v další části této kapitoly.

Na obrázku 13.13 je číselník jiného kombinovaného tlakoměru. Vpravo je stupnice tlakoměru oleje s rozsahem $0 \div 10 \text{ kg/cm}^2$, vlevo je stupnice tlakoměru paliva.

Na stupnici tlakoměru oleje jsou dvě značky, které určují provozní tlak oleje motoru, pro který se tlakoměru užívá. Vidíme, že pro tento motor je provozní tlak přibližně $6 \div 7 \text{ kg/cm}^2$.

Tlakoměr paliva

Pro činnost leteckého motoru je nesporně důležitá dostatečná zásoba paliva a také určitý tlakový rozdíl, přetlak paliva v nádrži, aby nemohlo dojít při neustálených letech apod. k přerušení dodávky paliva do motoru.

Základním elementem tlakoměru paliva je opět většinou Bourdonovo pero, ovšem mnohem citlivější než Bourdonovo pero, jakého se užívá u tlakoměrů oleje.

Tlakoměr paliva netvoří většinou samostatný přístroj, nýbrž je součástí dvojnásobného tlakoměru spolu s tlakoměrem oleje.

Pro motor Walter Minor 4-III jsou udány tyto tlaky paliva:

normální požadovaný tlak paliva: $0,2 \div 0,28 \text{ kg/cm}^2$
tlak paliva při volnoběhu až $0,3 \text{ kg/cm}^2$
tlak paliva při užití
akrobatického karburátoru . . . $0,22 \div 0,3 \text{ kg/cm}^2$

Všechny uvedené hodnoty znamenají hodnoty přetlaku proti atmosférickému tlaku vzduchu.

Potrubí tlakoměru paliva je připojeno k palivové instalaci motoru Walter Minor 4-III u letadla C-105 v místě za palivovým membránovým čerpadlem, tj. před vstupem do karburátoru.

Jak jsme si již dříve řekli, neuvádí se většinou tlakoměru paliva jako samostatného přístroje, nýbrž ve spojení s tlakoměrem oleje. Číselníky takových kombinovaných tlakoměrů jsou uvedeny v odstavci o tlakoměrech oleje, na obrázcích 13.12 a 13.13.

Na obrázku 13.12 je vidět kombinovaný tlakoměr oleje a paliva. Vpravo je stupnice tlakoměru paliva (označená „P“) s rozsahem $0 \div 0,6 \text{ kg/cm}^2$.

Na obrázku 13.13 je pohled na číselník kombinovaného tlakoměru oleje a paliva. Vlevo je stupnice tlakoměru paliva, označená „P“, s rozsahem $0 \div 1 \text{ kg/cm}^2$.

Na stupnici tlakoměru paliva jsou dvě značky, které určují provozní tlak paliva pro motor, u kterého je tlakoměr použit. Vidíme, že pro tento motor je provozní tlak paliva asi $0,7 \div 0,8 \text{ kg/cm}^2$.

Je-li motor vybaven kompresorem, pak měříme ještě také tlak kompresoru (dmyhadla.) U motorů s karburátorem je tlakoměr dmyhadla připojen na potrubí mezi zplynovačem a válcem motoru (tlakoměr měří tlak směsi), u vstřikovacích motorů je tlakoměr připojen přímo na výtlačné potrubí kompresoru (měří tlak vzduchu z kompresoru).

Měrným elementem tlakoměru dmyhadla je tlakoměrná krabice.

V dnešní době se stále více používá tlakoměrů s dálkovým elektrickým přenosem.

Tlakoměr se potom rozdělí na vysílač, umístěný na motoru a ukazatel, umístěný na palubní desce.

Ve vysílači je tlakoměrná krabice nebo membrána (nebo Bourdonovo pero), jejíž zdvih se převodem přenáší na potenciometr.

Potenciometrický přenos si blíže popíšeme v kapitole 14. Potenciometr je zapojen do elektrického obvodu ukazatele (do Wheatstoneova můstku). Ukazatel tvoří

vlastně elektrický ukazovací přístroj (miliampérmetr), jehož stupnice je cejkována v jednotkách tlaku, tedy v kg/cm^2 .

Vysílač a ukazatel navzájem spojuje pouze elektrický kabel, tedy vzdálenost mezi místem snímání tlaku na motoru a palubní deskou je libovolná.

13.3. TEPLoměRY

Řekli jsme si již, že pro správnou činnost leteckého motoru je nezbytné dostatečné mazání všech jeho pohyblivých částí. Nestačí však pouze dostatečná zásoba oleje, nýbrž je nutné, aby teplota mazacího oleje byla udržována v určitých mezích, ve kterých je mazací schopnost oleje postačující.

Abychom mohli teplotu mazacího oleje kontrolovat, je do olejové instalace motoru zapojen teploměr oleje.

Tímto přístrojem měříme teplotu oleje vystupujícího z motoru, nebo u některých letadel (motorů) teplotu oleje vstupujícího do motoru.

Přesto, že se ve sportovních letadlech setkáváme většinou jen s teploměrem oleje, popíšeme si přehledně všechny užívané typy teploměrů. U každého typu teploměru je uvedeno, k jakému účelu se ho používá.

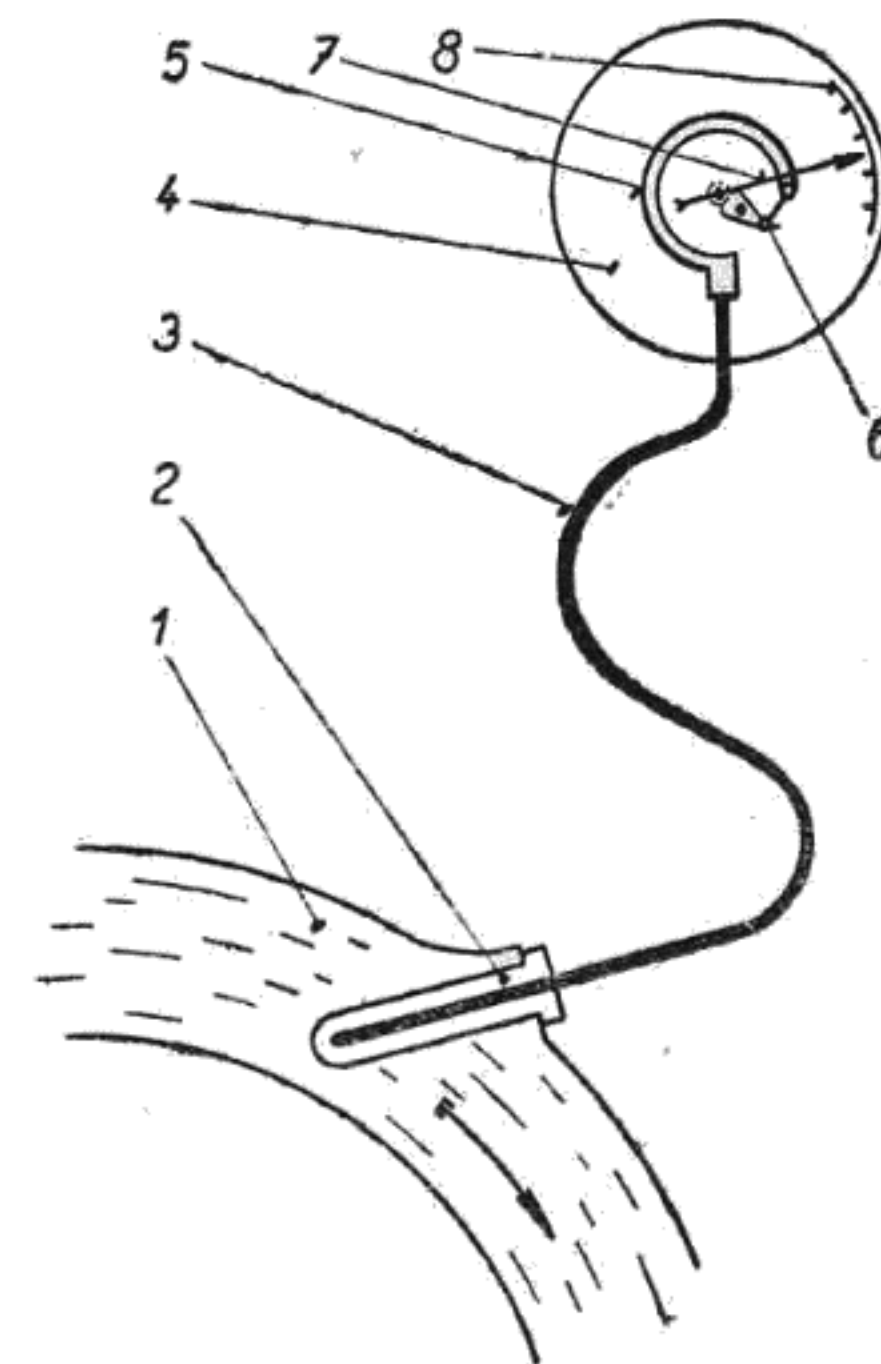
Teploměry plněné kapalinou

Na obrázku 13.14 je schématicky nakreslen rtuťový teploměr, u něhož se využívá roztahování rtuti při změnách teploty.

Do olejového potrubí 1 je zasazena sonda teploměru 2. Sondu spojuje trubička 3 s ukazatelem na palubní desce letadla 4.

Základním elementem ukazatele 4 je Bourdonovo pero 5, jehož volný konec je spojen převodem 6 s ručičkou 7, která ukazuje na stupnici 8. Stupnice je cejkována přímo ve $^{\circ}\text{C}$. Sonda teploměru 2, potrubí 3 i Bourdonovo pero 5 jsou zcela vyplněny rtutí.

Při změně teploty oleje změní se i teplota rtuti v přístroji. Při zvyšování teploty začne se rtuť roztahovat a protože prostor přístroje je rtutí zcela vyplněn,



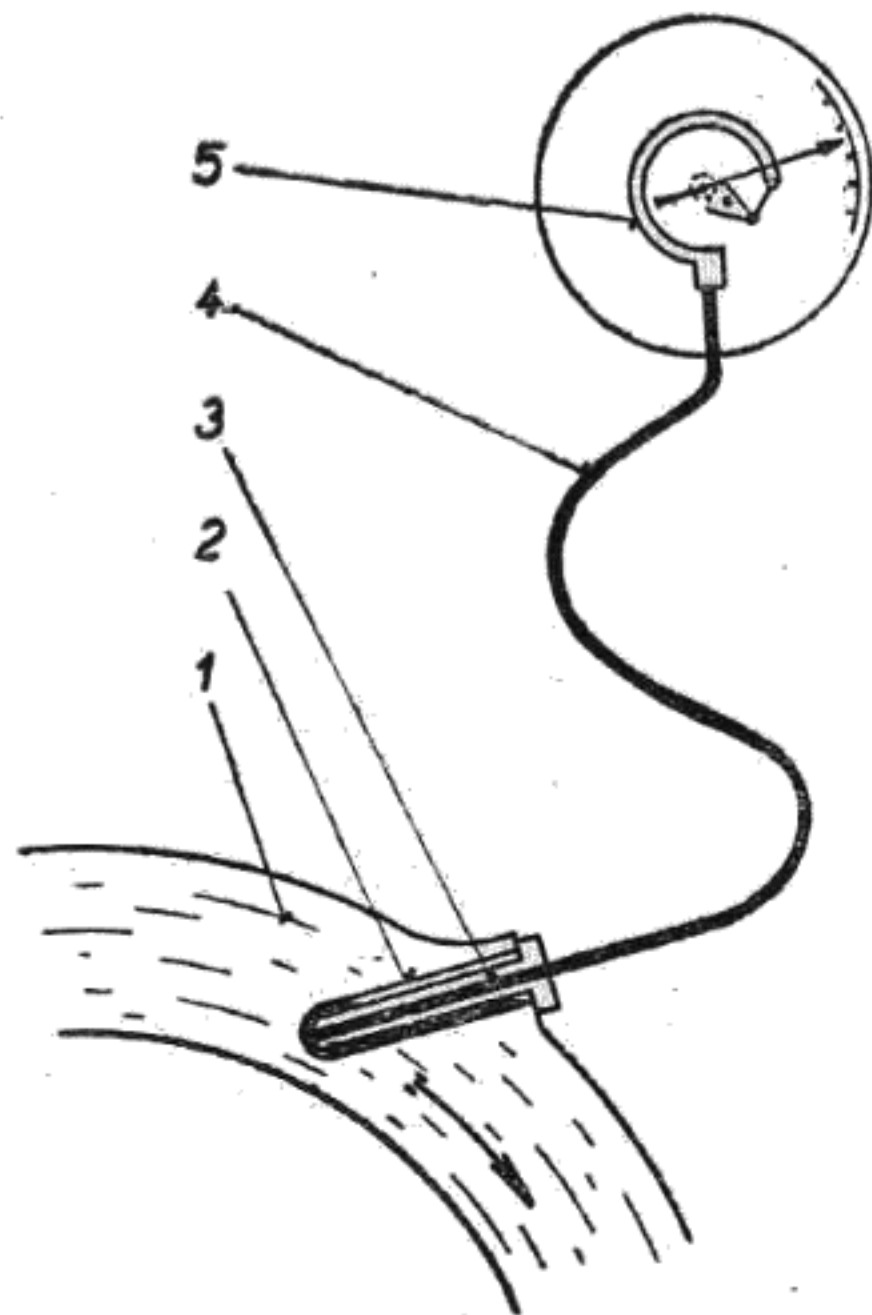
Obr. 13.14. Schéma rtuťového teploměru.

1 – olejové potrubí, 2 – sonda teploměru, 3 – spojovací trubička, 4 – ukazatel na palubní desce, 5 – Bourdonovo pero, 6 – převod, 7 – ručička, 8 – stupnice.

bude se zvětšovat i tlak rtuti. Tím dojde k deformaci Bourdonova pera (jak jsme si podrobně popsali v odstavci o tlakoměrech oleje), volný konec pera se bude pohybovat a jeho pohyb se přenesl i na ručičku přístroje, která ukáže příslušnou změnu teploty. Stupnice ukazatele není cejkována v jednotkách tlaku, ale v jednotkách teploty, tedy °C, jak jsme si již řekli.

Nevýhodou těchto teploměrů (teploměrů plněných rtutí) je okolnost, že rtuť napadá většinu konstrukčních kovů kromě železa; proto musí být veškeré části

přístroje, které přicházejí do styku se rtutí, železné a tím celý přístroj vychází značně těžký.



Obr. 13.15. Schéma teploměru, plněného kapalinou a jejími parami.

1 - olejové potrubí, 2 - sonda teploměru, 3 - trubička v sondě, 4 - spojovací trubička, 5 - Bourdonovo pero ukazovacího přístroje na palubní desce.

dělena ne v jednotkách tlaku, ale přímo v jednotkách teploty, tj. ve °C.

Činnost tohoto typu teploměru je založena na tom, že tlak nasycených par plnicí kapaliny je při konstantním objemu pouze funkcí teploty. Každé teplotě tedy přísluší určitý tlak par plnicí kapaliny, který měříme Bourdonovým perem přístroje.

Maximální délka spojovací trubičky v obrázku 13.15 označená 4, je asi 15 metrů. Při instalaci teploměru i v provozu je nutno zacházet (hlavně se spojovacími trubicemi) opatrně, aby se nepoškodily.

Protože stupnice teploměru je cejkována pro zcela určitou délku spojovací trubice, není možno spojovací trubice jakkoliv zkracovat nebo prodlužovat.

Popsaného typu teploměru se užívá jako teploměru oleje.

Teploměry plněné kapalinou a jejími parami

Dalším typem teploměrů jsou teploměry, u nichž se využívá změny tlaku par určité těkavé kapaliny, která zčásti vyplňuje prostor teploměru. Tohoto typu se užívá jako teploměru oleje. Schéma tohoto typu teploměru uvádí obrázek 13.15.

Do olejového potrubí 1 je vsazena sonda teploměru 2, kterou asi do poloviny vyplňuje těkavá kapalina (methylchlorid, kysličník uhličitý, etylchlorid, aceton) o nízkém bodu varu. (Například etylchlorid vře při + 13° C, methylchlorid vře při teplotě - 24° C.)

Téměř na dno sondy teploměru 2 zasahuje trubička 3, která pokračuje trubicí 4 do Bourdonova pera ukazatele 5. Trubičku 4, Bourdonovo pero a část sondy 2 vyplňuje plnicí kapalina.

Při změně teploty (například při jejím zvýšení) mění se i tlak páry plnicí kapaliny. Při změně tlaku deformuje se Bourdonovo pero a pohyb jeho volného konce se převádí na ručičku přístroje. Ručička ukazuje na stupnici, která je

Teploměry plněné plynem

Schéma tohoto typu teploměru je shodné se schématem teploměrů plněných kapalinou, nebo teploměrů plněných kapalinou a jejími parami, které jsme si právě probrali, jen s tím rozdílem, že prostor sondy, spojovací trubice a Bourdonova pera vyplňuje pouze plyn. Prostor sondy, spojovací trubice a Bourdonova pera vyplňuje dusík o tlaku 150 atm. Sonda bývá většinou spirálovitá, aby styková plocha s měřeným prostředím byla co největší.

U tohoto typu teploměru musí být splněna důležitá podmínka, že sonda i celé spojovací potrubí musí být v prostředí o stejné teplotě. Z toho vidíme, že se tohoto typu teploměru nemůže použít pro teploměry oleje, ale že se bude hodit například pro teploměr atmosférického vzduchu.

Měříme-li tímto typem teploměru teplotu atmosférického vzduchu, potom skutečně je sonda, spojovací potrubí i ukazovací přístroj v prostředí stejné teploty, nemáme-li samozřejmě na mysli měření teploty okolního vzduchu u letadel s přetlakovou nebo klimatizovanou kabinou.

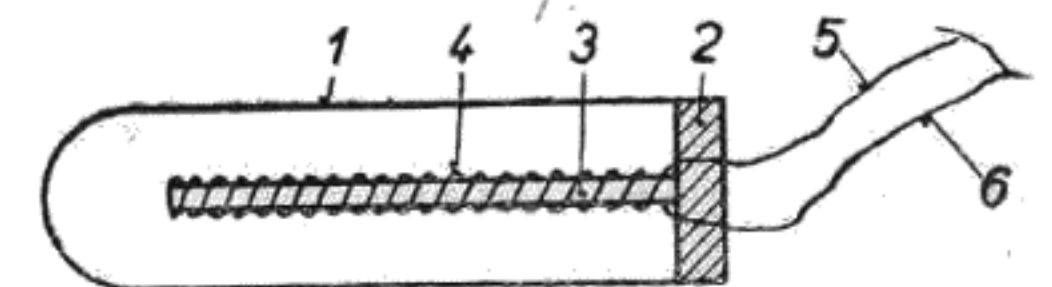
Elektrické odporové teploměry

Tohoto typu teploměrů se v moderní době stále více a více používá. Jejich funkce je založena na tom, že elektrický odpor kovů se mění s teplotou. Základním elementem bude tedy sonda s odporovým tělískem, jehož vývody jsou pak spojeny s elektrickým ukazatelem na palubní desce.

Schéma takového tělíska sondy je zřejmé z obrázku 13.16.

Do tělesa sondy 1 je v zátce 2 zasazena elektricky nevodivá tyčinka 3, na kterou je navinut elektrický odporový drát 4. Vývody drátu 5 a 6 jsou potom spojeny s ukazovacím přístrojem na palubní desce.

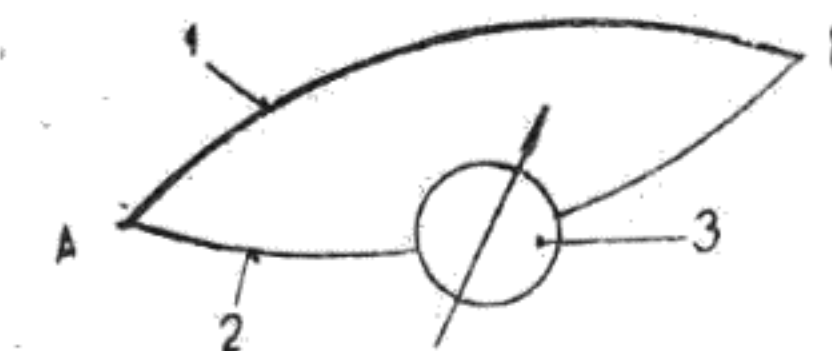
Elektrických odporových teploměrů se užívá hlavně pro měření teploty atmosférického vzduchu. Někdy se tohoto typu teploměru (se zvláště upraveným tvarem sondy) užívá jako teploměru oleje.



Obr. 13.16. Schéma sondy elektrického odporového teploměru.

1 - těleso sondy, 2 - zátka, 3 - tyčinka z izolační hmoty, 4 - elektrický odporový drát, 5 a 6 - vývody drátu.

Termoelektrické teploměry



Obr. 13.17. Termoelektrický článek.
1 - pásek z konstantanu, 2 - pásek ze železa,
3 - milivoltmetr.

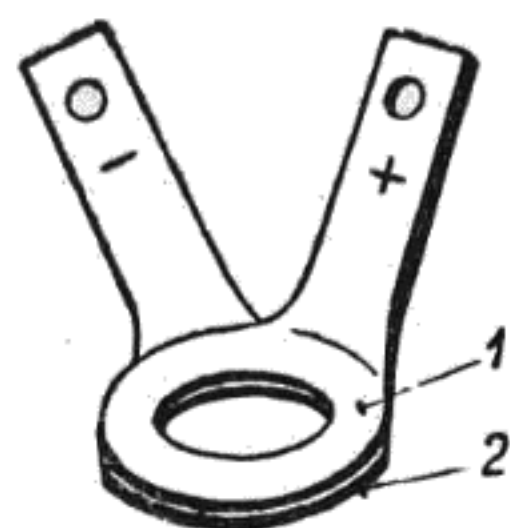
Termoelektrické teploměry se zakládají na využití principu termoelektrického článku.

Termoelektrický článek vznikne spojením dvou vodičů, z nichž každý je z jiného kovu. Schéma vidíme na obrázku 13.17.

Pásek nebo drát (například z konstantanu) 1 je na obou koncích spojen s páskem 2, například ze železa. Do obvodu pásku nebo drátu 2 je vřazen milivoltmetr 3.

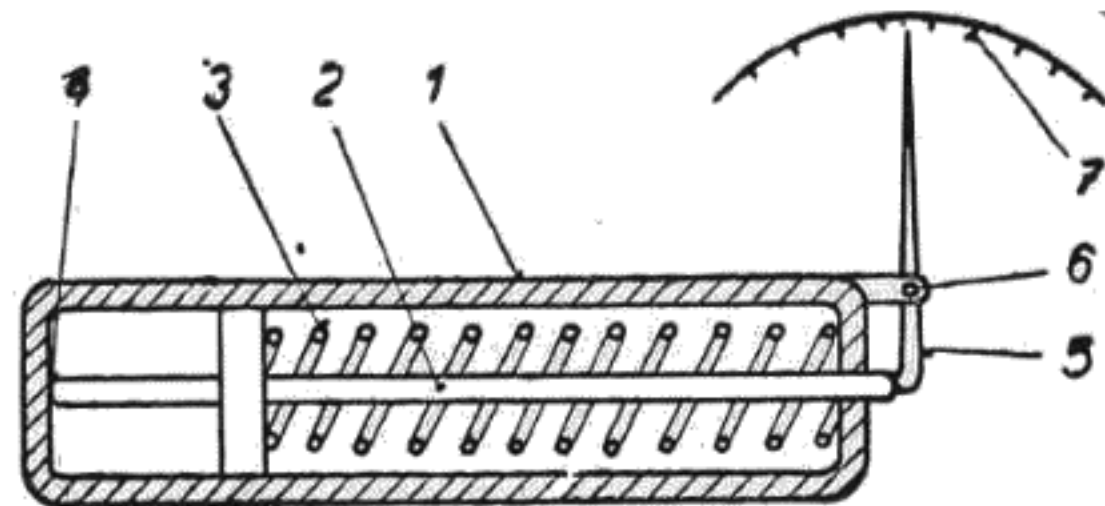
Spoj A, tzv. studený spoj, máme v místě, kde je konstantní teplota, tj. odděleně od prostředí nebo tělesa, jehož teplotu měříme. Spoj B, tzv. teplý spoj, vložíme na místo, kde chceme měřit teplotu.

Je-li teplota míst A a B různá, bude obvodem protékat elektrický proud tím větší, čím větší je rozdíl teplot bodu A a B. Velikost proudu měříme milivoltmetrem, jehož stupnice je cejchována ve °C.



Obr. 13.18. Termoelektrický snímač teploty hlav válců motoru.

1 a 2 – spájené kroužky z různých kovů.



Obr. 13.19. Schéma dilatačního teploměru.

1 – mosazné pouzdro sondy, 2 – invarová tyčinka, 3 – pružina, 4 – hrot invarové tyčinky, 5 – páka (ručička), 6 – čep, 7 – stupnice.

Protože pro malé rozdíly teplot jsou změny vzniklého napětí velmi malé, užívá se tohoto typu teploměru převážně tam, kde se měří větší rozdíl teplot, tedy například pro měření teploty hlav válců.

Praktické provedení termoelektrického snímače teploměru pro měření teploty hlav válců pod svíčkami je na obrázku 13.18.

Spájené kroužky 1 a 2 tvoří teplý spoj. Studený spoj je až v ukazovacím přístroji na palubní desce.

Jako dvojice kovů se většinou užívá: železo – konstantan, nikl – nichrom, chromel – kopel, měď – kopel, platina – platinrhodium a další.

Pro úplnost uvedme si chemické složení uvedených kovů.

Pro názor si ještě uvedme, že například pro kombinaci železo – konstantan vychází pro rozdíl teplot 500° C (rozdíl teploty studeného a teplého spoje) rozdíl napětí (elektromotorická síla) 27 milivoltů = 0,027 voltů.

Dilatační teploměr

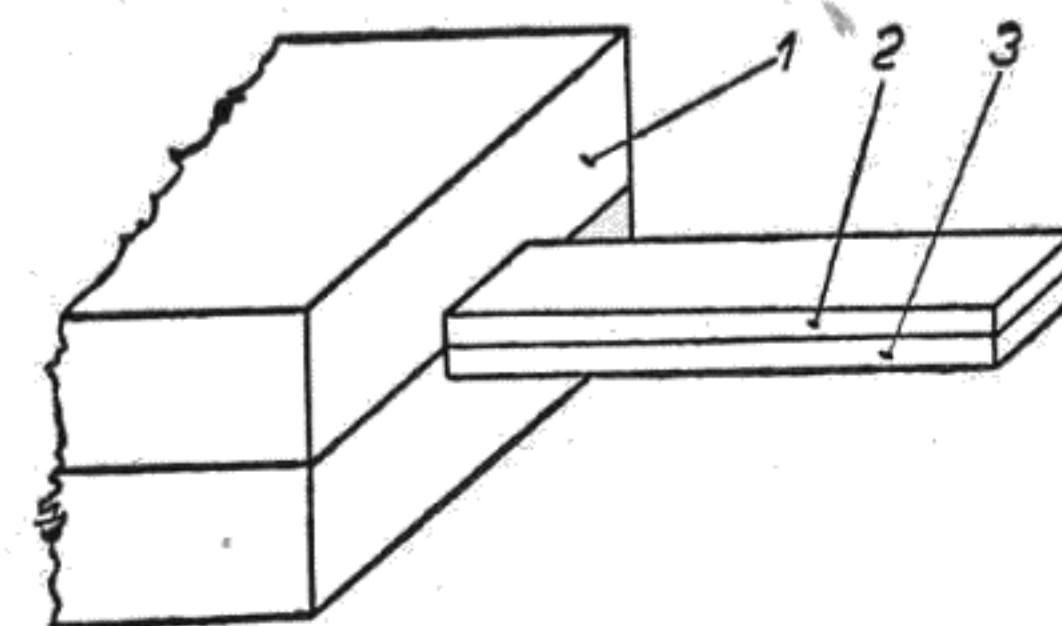
Schéma s popisem jednotlivých částí je zřejmé z obrázku 13.19.

Do pouzdra sondy 1, vyrobeného z mědi nebo mosazi, je zasazena tyčinka 2 z invaru.

Tyčinku 2 tlačí pružinka 3 doleva tak, aby hrot tyčinky 4 stále doléhal na dno pouzdra sondy 1.

Protože mosaz a invar mají značně rozdílnou teplotní roztažnost, bude se při změnách teploty jinak roztahovat pouzdro 1 a jinak tyčinka 2. Rozdíly v délce obou součástí se projeví na rozdílné celkové délce pouzdra sondy 1 a invarové tyčinky 2. Tyto rozdíly můžeme měřit například páčkou 5, otáčející se kolem čepu 6. Páčka 5 tvoří zároveň ručičku, ukazující na stupnici 7. Stupnice je cejchována přímo ve °C.

Tohoto typu teploměru se dnes používá jako snímače pro dálkový teploměr (místo ručičky je element elektrického obvodu ukazovacího přístroje, například potenciometru).



Obr. 13.20. Bimetalický pásek.

1 – rám, 2 a 3 – pásy z různých kovů.

Bimetalické teploměry

Měrným elementem těchto teploměrů je pásek, složený ze dvou pevně spolu spojených pásků kovů (pásy jsou navzájem spájeny nebo sválcovány).

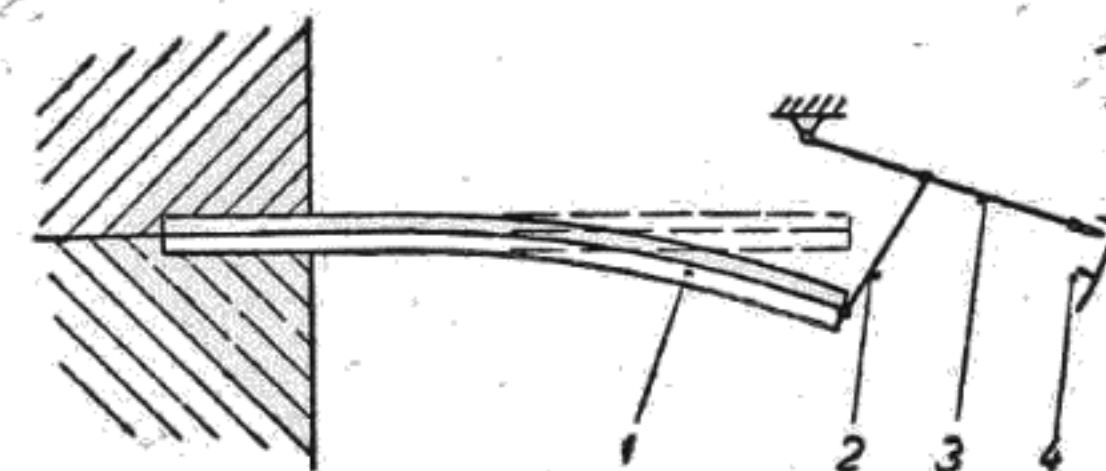
Základní schéma bimetalického pásku je na obrázku 13.20. Do rámu 1 je vtčnut pevně bimetalický pásek, složený z pásů 2 a 3. Při změnách teploty se roztahuje každý pásek jinak a celý pásek se tedy prohne, jak je vidět na obrázku 13.21.

Zvýší-li se teplota, prohne se pásek 1 na stranu pásku s menší teplotní roztažností (na obrázku 13.21. dolů). Pohyb volného konce bimetalického pásku se přenáší táhlem 2 na ručičku 3, která ukazuje na stupnici 4. Stupnice je cejchována ve °C.

Pro pásy bimetalu se užívá dvojice kovů různých slitin železa, niklu a molybdenu (jako pásků o velké teplotní roztažnosti) v kombinaci s inwarem (pro pásy s malou teplotní roztažností).

Bimetalické pásy bývají většinou pro zvětšení citlivosti teploměru co největší délky a stočené do spirály.

Bimetalických teploměrů se užívá pro měření teploty vzduchu v kabině letadla a pro měření teploty atmosférického vzduchu.



Obr. 13.21. Schéma bimetalického teploměru.

1 – bimetalický pásek, 2 – táhlo, 3 – ručička, 4 – stupnice.

Kov	Chemické složení
Konstantan	40 % niklu 60 % mědi
Nichrom	84,6 % niklu 12,4 % chromu 3 % železa
Chromel	89 % niklu 10 % chromu 1 % železa
Kopel	45 % niklu 55 % mědi
Platinrhodium	90 % platiny 10 % rhodia

Lihové teploměry

Pro měření teploty atmosférického vzduchu se při měřicích letech nebo při meteorologických letech užívá normálních lihových teploměrů, umístěných na speciálním držáku na kabině nebo na křídle letadla tak, aby je bylo možno za letu sledovat a odečítat jejich údaj.

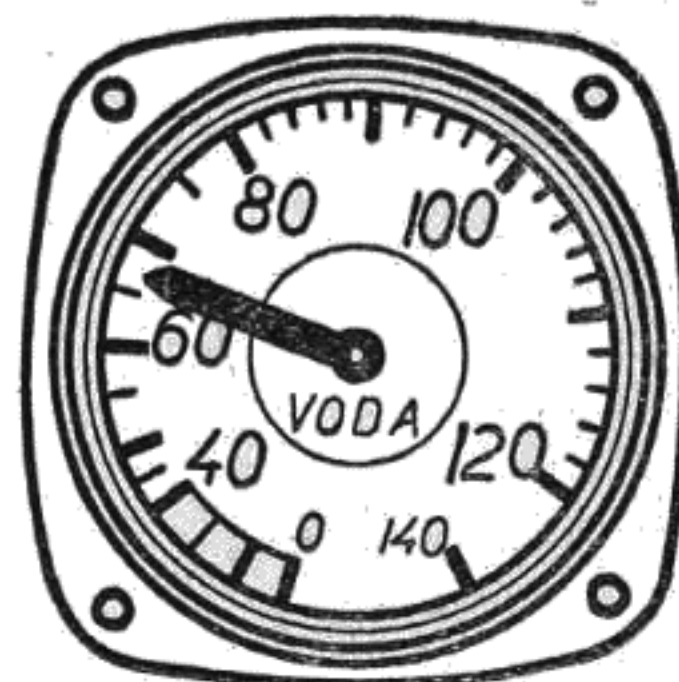
Protože jsme si pro úplnost probrali všechny typy teploměrů, kterých se v letadlech používá, uvedme si na závěr tohoto odstavce přehledné typy teploměrů, kterých se používá pro měření teploty mazacího oleje motoru.

Jsou to: teploměr rtuťový, teploměr plněný těkavou kapalinou a jeho parou, elektrický odporový teploměr.

Uvedme si ještě také provozní teploty oleje u motoru Walter Minor 4-III.



Obr. 13.22. Číselník teploměru oleje.



Obr. 13.23. Číselník teploměru vody.

Musíme si však uvědomit, že u tohoto motoru se měří buď teplota oleje vystupujícího z motoru nebo teplota oleje vstupujícího do motoru. Proto také provozní hodnoty pro oba případy budou různé a musíme dát pozor, o jakou teplotu v daném případě jde!

a) Měření teploty oleje vystupujícího z motoru (například u letadel C-105 a Z-226):

teplota oleje při motorové zkoušce	
a startu	30° C
normální provozní teplota oleje	50÷90° C
maximální teplota oleje krátkodobě . .	105° C.

b) Měření teploty oleje vstupujícího do motoru (například u letadla C-106):

teplota oleje při motorové zkoušce	
a startu	20° C
normální provozní teplota oleje	40÷80° C
maximální teplota oleje krátkodobě . .	80° C.

Závěrem se ještě podíváme na číselníky některých teploměrů.

Na obrázku 13.22. je číselník teploměru oleje se stupnicí v rozsahu do 150° C.

Značky nám ukazují, že provozní teplota oleje pro motor, u kterého se teplota uvedeným teploměrem měří, je 83÷105° C.

Na obrázku 13.23. je číselník teploměru vody se stupnicí v rozsahu 0÷140° C. Tímto teploměrem se měří teplota chladicí vody u leteckých motorů, které jsou chlazeny vodou. Tento typ teploměrů jsme si neuváděli proto, že u letadel Svazarmu nepřicházejí v úvahu, ovšem uvádíme si ho nyní, abychom si připomněli, že takový typ teploměru také existuje.

13.4. PALIVOMĚRY

Palivoměry měříme množství paliva v nádržích, protože za letu musíme vždy znát zásobu paliva.

Užívané typy palivoměrů jsou: jednoduchý plovákový palivoměr, plovákový palivoměr s plovákem na ramenu, plovákový palivoměr se šroubovým pohybem plováku a pneumatický palivoměr.

Jednoduchý plovákový palivoměr

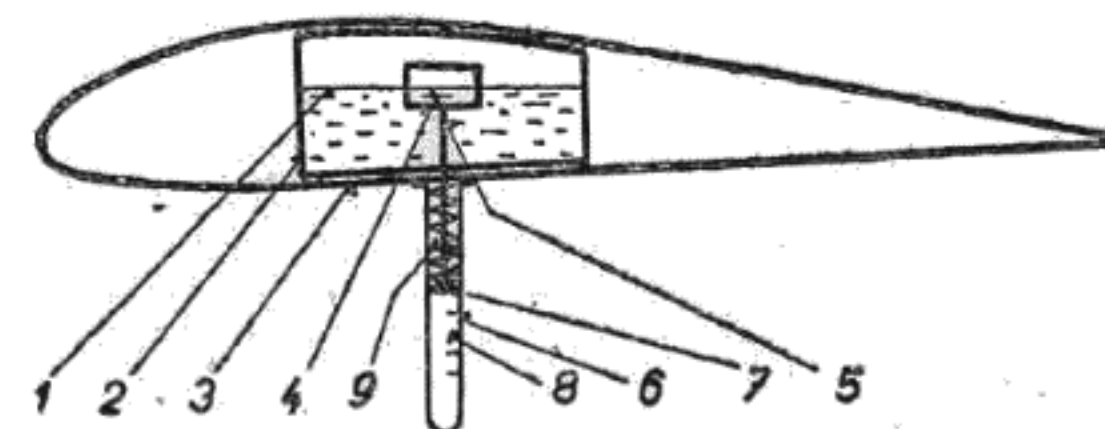
Nejjednodušší typ palivoměru je uveden na obrázku 13.24.

Na hladině paliva 1 v nádrži 2 plove plovák 3, ze kterého je otvorem v nádrži vyvedena ven tyčinka 4. Podle délky vyčnívající části tyčinky usuzujeme na množství paliva v nádrži. Je-li tyčinka značně vysunutá, je paliva dostatek, je-li úplně zasunutá, je nádrž prázdná.

Užití tohoto typu palivoměru ovšem předpokládá užití spádové nádrže v dohledu pilota. Tímto typem bylo vybaveno letadlo K 60 (Piper Cub), u kterého byla palivová nádrž v trupu před pilotní kabinou.

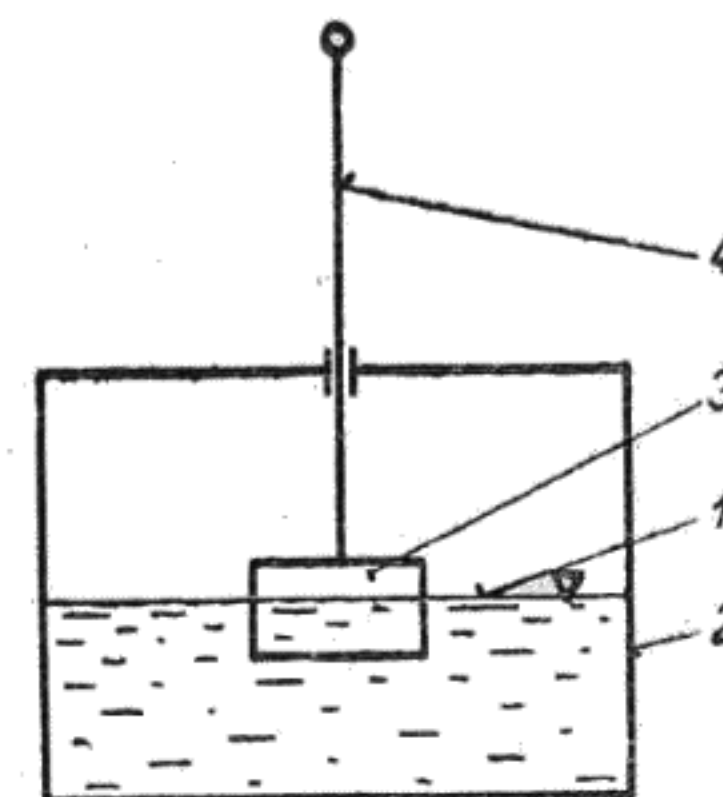
Obdobný typ jednoduchého plovákového palivoměru je vidět na obrázku 13.25.

Na hladině paliva 1 v nádrži 2, která je v křídle letadla 3 plove plovák 4. Tyčinka od plováku 5 směřuje dolů a její konec se pohybuje ve skleněné, dole uzavřené nádobce 6, která je rovněž vyplněna palivem. Na konci tyčinky 5 je značka 7, která nám svou polohou vzhledem ke stupnici 8 udává množství paliva v nádrži.



Obr. 13.25. Upravený jednoduchý plovákový palivoměr.

1 - hladina paliva v nádrži, 2 - nádrž, 3 - křídlo letadla, 4 - plovák, 5 - tyčinka plováku, 6 - skleněná trubice, 7 - značka na konci tyčinky plováku, 8 - stupnice, 9 - pružina.



Obr. 13.24. Jednoduchý plovákový palivoměr.

1 - hladina paliva v nádrži, 2 - nádrž, 3 - plovák, 4 - tyčinka.

Stupnice 8 je cejchována přímo v litrech obsahu nádrže.

Rozsah stupnice je možno upravit pružinou 9, která je při pohybu tyčinky více nebo méně stlačována.

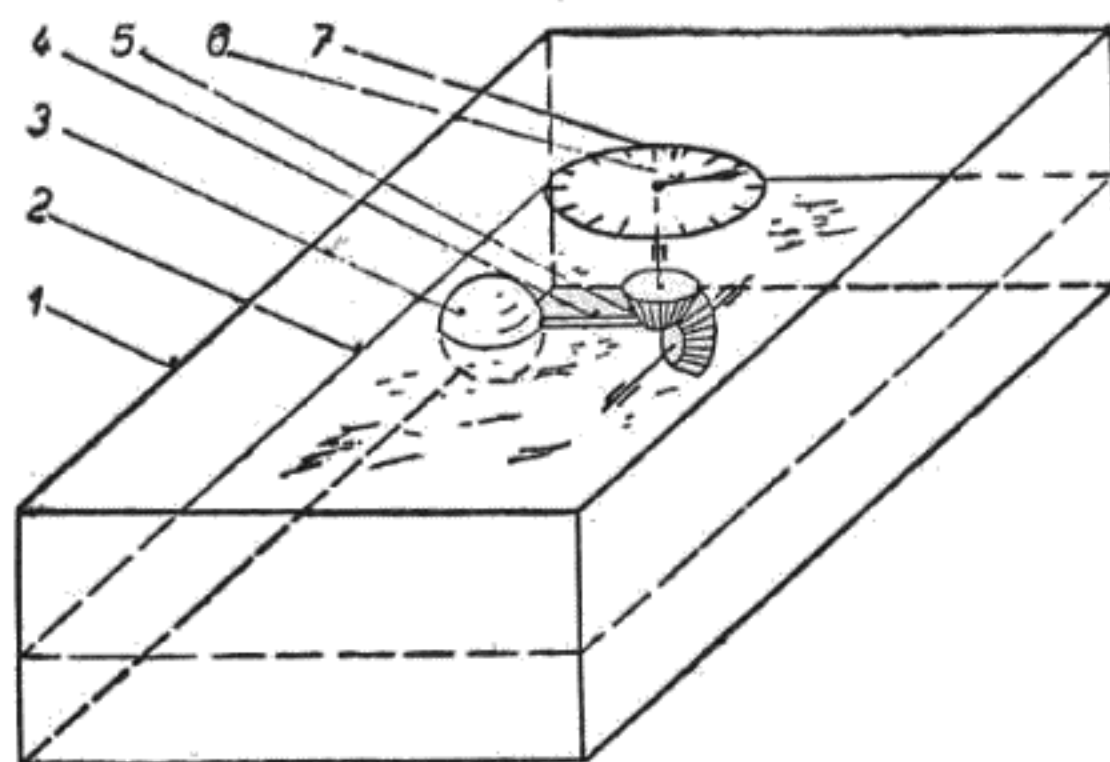
Tohoto typu palivoměru se užívá u hornokřídlových letadel nebo u dvouplošníků, mají-li nádrž v horním křídle.

Tento typ palivoměru má například letadlo K-65 (Čáp).

Palivoměr s plovákem na ramenu

Schéma tohoto typu palivoměru je na obrázku 13.26.

V nádrži 1 plove na hladině paliva 2 plovák 3. Změny jeho polohy při změně množství paliva v nádrži se přenášejí ramenem 4 přes ozubený převod 5 na ru-



Obr. 13.26. Palivoměr s plovákem na ramenu.

1 – nádrž, 2 – hladina paliva v nádrži, 3 – plovák, 4 – rameno plováku, 5 – ozubený převod, 6 – ručička, 7 – stupnice.

čičku 6, která ukazuje na stupnici 7. Stupnice 7 je cejchována přímo v litrech příslušné nádrže.

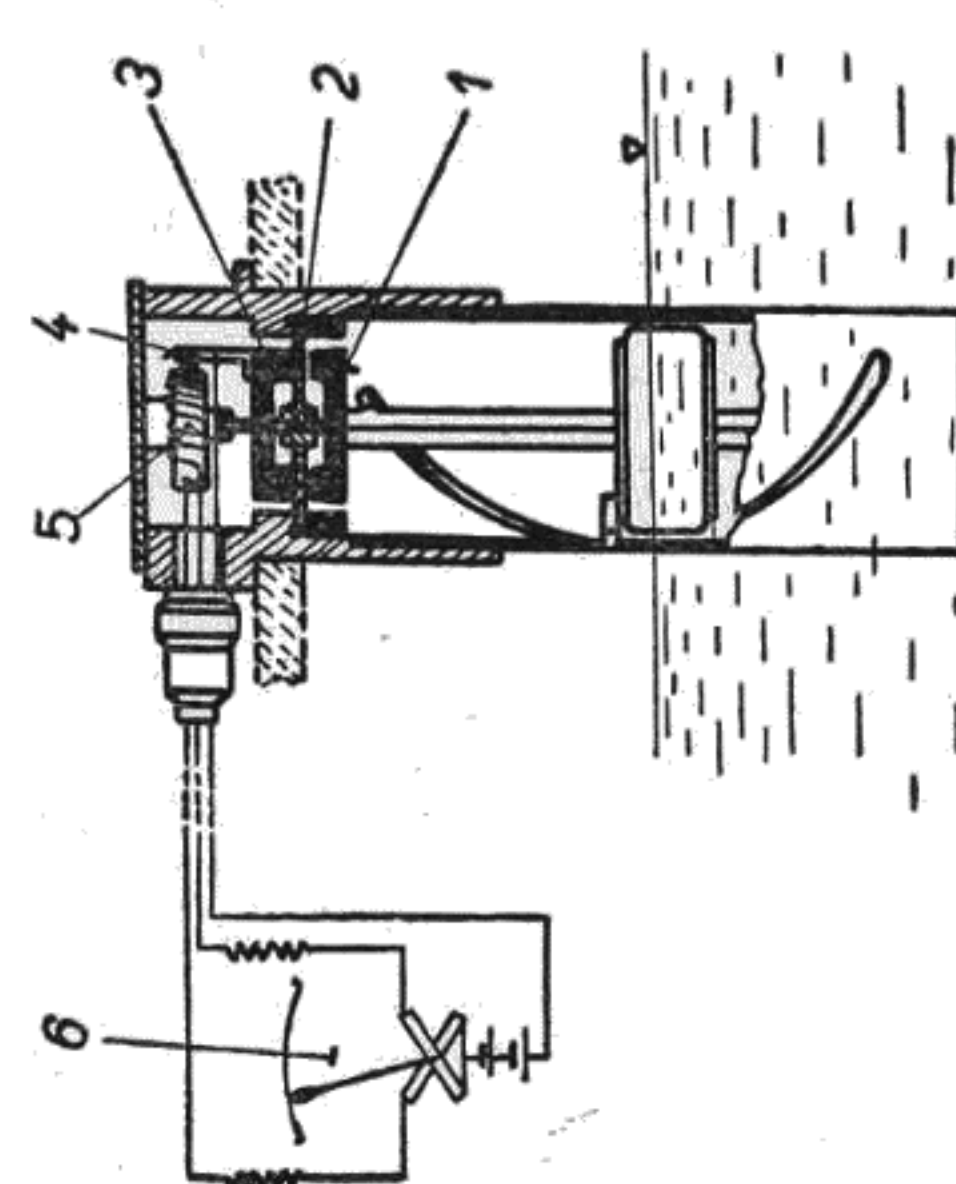
Plovákový palivoměr se šroubovým pohybem plováku

Funkci tohoto typu palivoměru si vysvětlíme na obrázku 13.27.

Do palivové nádrže je zasazen válec 1, který má po obvodu šroubový výřez 2. Plovák 3 je veden po čtyřhranné tyčce 4, která se může otáčet v ložiskách válce 1. V plováku 3 je zasazen kolík 5, který se pohybuje při pohybu plováku ve šroubovém výřezu pláště. Při stoupnutí nebo klesnutí hladiny paliva v nádrži stoupne nebo klesne i plovák 3. Vlivem pohybu kolíku 5 ve šroubovém výřezu pláště 1 natáčí se plovák a ten zároveň natáčí i vodící tyčku 4. Na tyčce 4 je nahoře přímo nasazena ručička, ukazující na stupnici. Ručička 6 se tedy při pohybech plováku 3, tj. při změně množství paliva v nádrži natáčí.

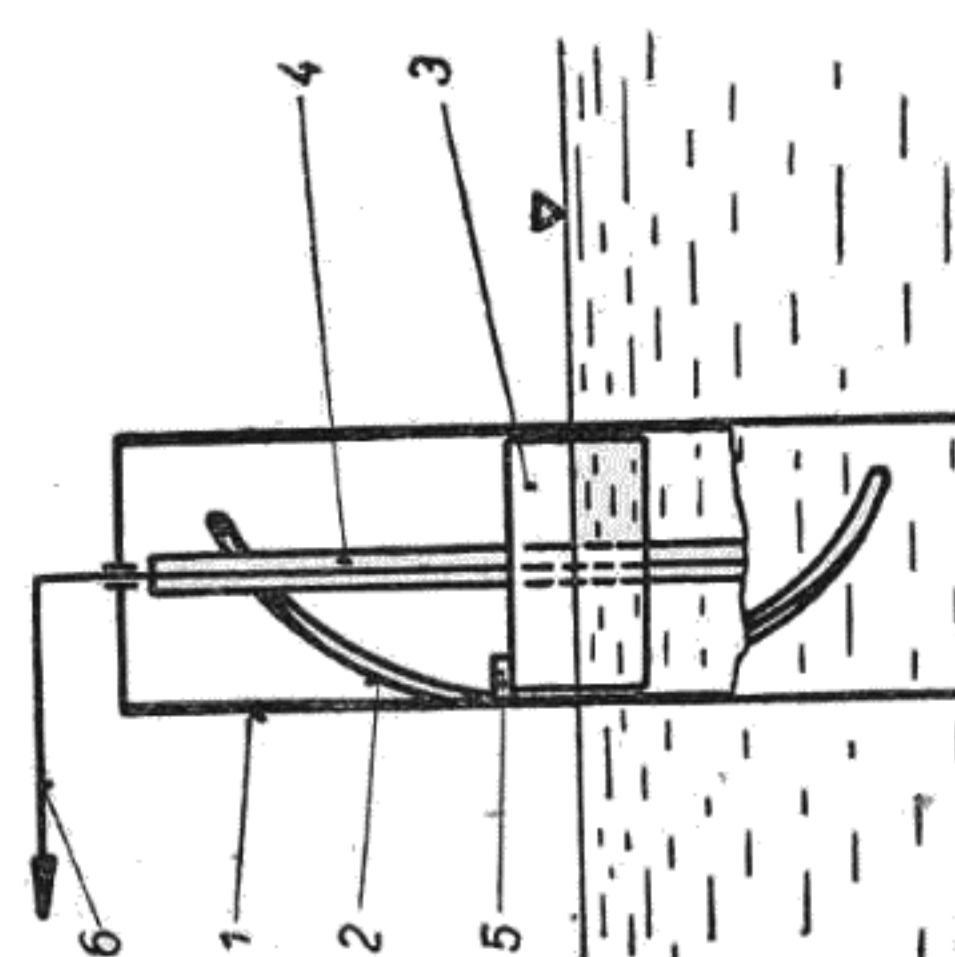
Zdokonalený typ tohoto palivoměru, upravený pro dálkový přenos údaje, je nakreslen schématicky na obrázku 13.28.

Při natáčení vodící tyčky plováku natáčí se i jedna část magnetické spojky, která je s vodící tyčkou plováku pevně spojena. První část magnetické spojky je na obrázku 13.28 označena 1. Za těsnicí přepážkou 2 je druhá část magnetické spojky 3. Při natáčení první části magnetické spojky 1 se shodně natáčí i druhá část magnetické spojky 3, se kterou je spojen běžec potenciometru. Běžec potenciometru 4 se při pohybu magnetické spojky, tedy při pohybu plováku a tedy při změně množství paliva v nádrži, pohybuje po vinutí potenciometru 5, tím mění poměry v elektrickém obvodu ukazovacího přístroje a ukazovací přístroj 6 nám ukáže výchylku. Stupnice elektrického ukazovacího přístroje, který je na palubní desce, je cejchována v litrech obsahu příslušné nádrže.



Obr. 13.28. Plovákový palivoměr se šroubovým pohybem plováku s dálkovým přenosem údaje.

1 – první část magnetické spojky, 2 – těsnicí přepážka, 3 – druhá část magnetické spojky, 4 – běžec potenciometru, 5 – vinutí potenciometru, 6 – ukazovací přístroj na palubní desce.

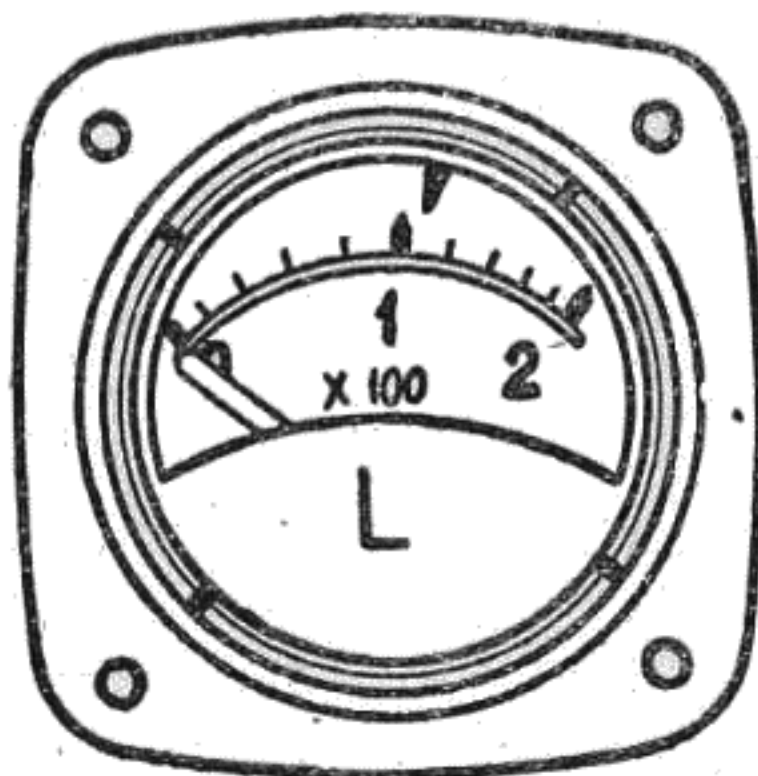


Obr. 13.27. Plovákový palivoměr se šroubovým pohybem plováku.

1 – válec, 2 – šroubový výřez, 3 – plovák, 4 – čtyřhranná tyčinka, která vede plovák, 5 – kolík v plováku, 6 – ručička.

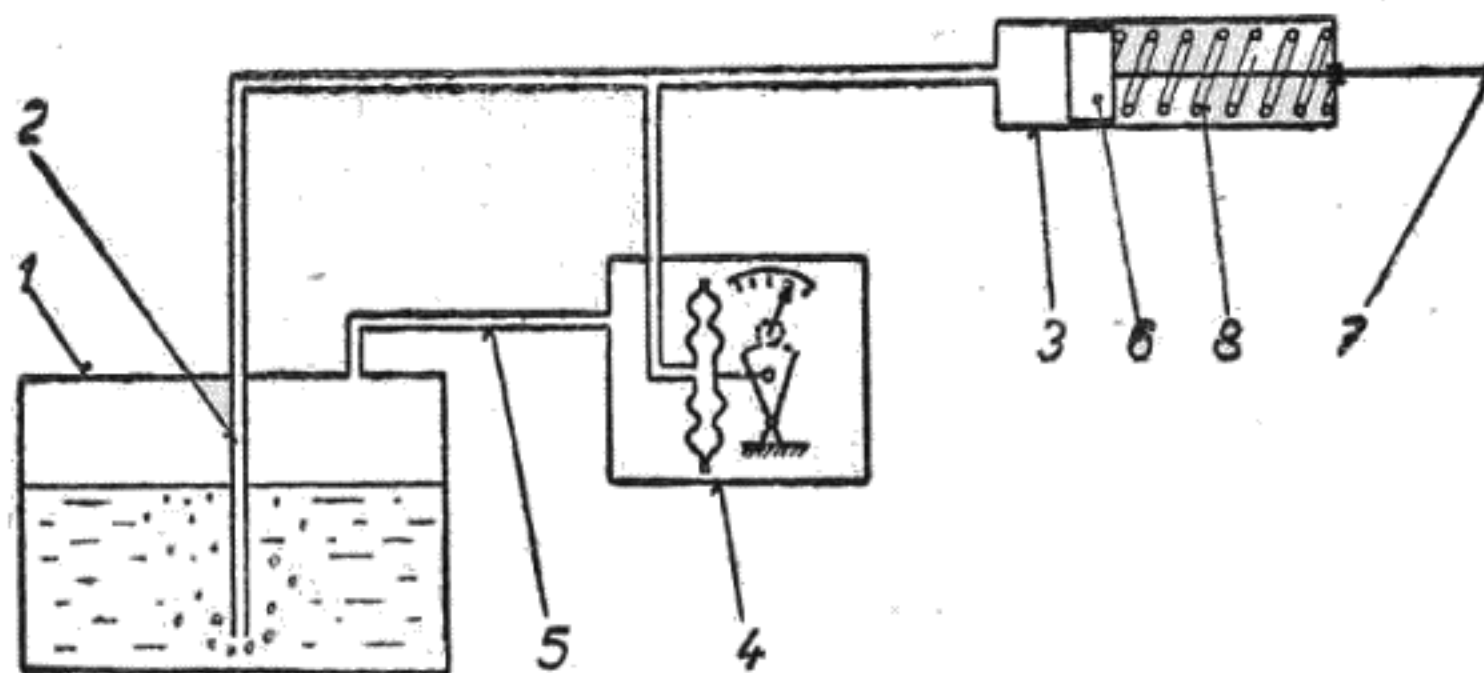
Výhodou tohoto typu palivoměru je to, že ukazatel může být libovolně vzdálen od palivové nádrže.

Užití magnetické spojky je důležité hlavně proto, že je zcela oddělen prostor nádrže od vysílače elektrického indikačního přístroje a není tedy nebezpečí vzniku požáru při náhodně vzniklé poruše (jiskře) v elektrickém vedení. Na obrázku 13.29 je číselník ukazatele tohoto typu palivoměru.



Obr. 13.29. Číselník palivoměru se šroubovým pohybem plováku s dálkovým přenosem údaje.

vlivem tlaku pružiny 8 bude píst pumpičky pohybovat doleva a bude vytlačovat vzduch z prostoru před pístem, tedy i vytlačovat palivo z trubičky 2 v nádrži. Hladina paliva v trubičce 2 se bude stále snižovat, tlak v prostoru před pístkem se vlivem jeho stlačování bude stále zvětšovat. Proto také kontrolní přístroj bude ukazovat stále větší a větší hodnotu (stupnice přístroje je cejchována v litrech obsahu nádrže). V okamžiku, kdy hladina paliva v trubičce 2 klesne až ke spodnímu okraji trubičky, začne přebytečný vzduch „vybublávat“ palivem na hladinu. V tom okamžiku přestane také v prostoru před pístkem stoupat tlak. Ručička kontrolního přístroje se tedy zastaví na určité hodnotě a na stupnici přečteme, kolik je paliva v nádrži.



Obr. 13.30. Schéma pneumatického palivoměru.

1 - palivová nádrž, 2 - trubička v nádrži, 3 - pumpička, 4 - kontrolní ukazovací přístroj, 5 - trubička, 6 - pístek pumpičky, 7 - rukojeť, 8 - pružina.

Pneumatický palivoměr

Jeho základní schéma je zřejmé z obrázku 13.30.

Do palivové nádrže 1 je zavedena až téměř ke dnu trubička 2, vyvedená do pumpičky 3 a do tlakoměrné krabice kontrolního přístroje 4. Prostor nad palivem v nádrži je vyveden trubičkou 5 do pouzdra kontrolního přístroje 4. V pumpičce 3 je pístek 6, vyvedený v rukojeť 7.

Je-li pístek 6 v levé krajní poloze (v klidu), je v trubici 2 palivo ve stejné výšce jako v nádrži. Zatáhneme-li za rukojeť pumpičky 7 (pumpička je umístěna na palubní desce), dostane se pístek 6 do pravé krajní polohy; po puštění rukojeti 7 se

Pumpička je konstrukčně řešena tak, aby pohyb pístku neskončil již v okamžiku, kdy bylo této situace dosaženo, proto také ručička kontrolního přístroje zůstane chvíli na maximální výchylce stát a máme proto možnost pohodlně stav paliva v nádrži odečíst.

Musíme si tedy uvědomit, že musíme odečítat vždy údaj stojící ručičky!

Ve skutečnosti je samozřejmě celý systém tohoto typu palivoměru značně složitější, ovšem jeho funkce zůstává naprosto stejná.

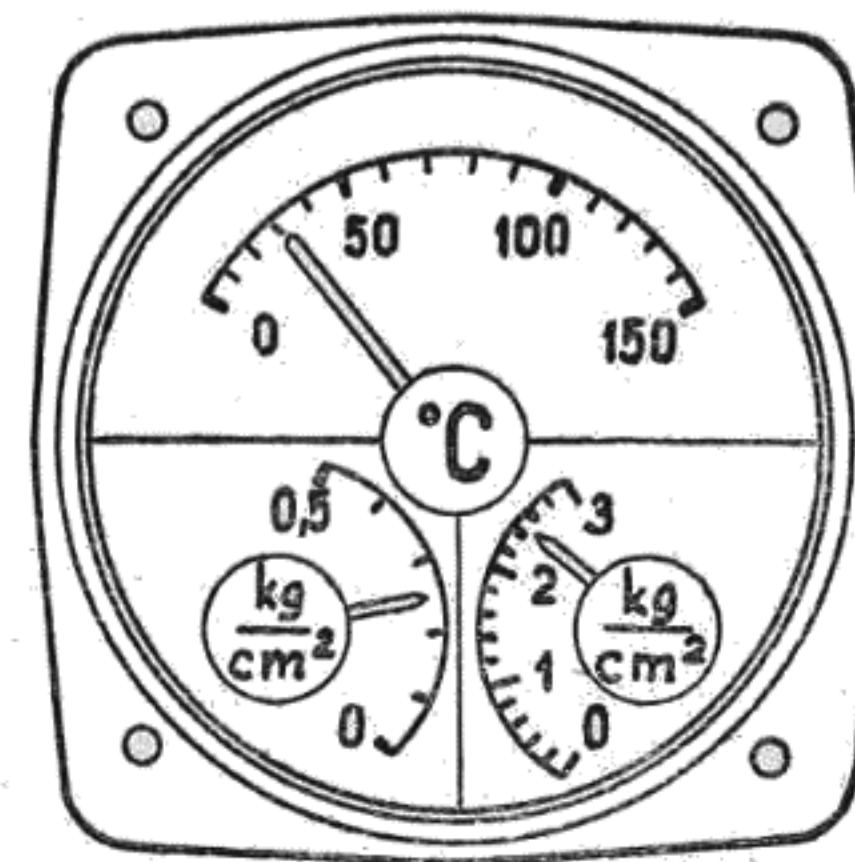
Tímto typem palivoměru měříme vlastně hydrostatický tlak výšky paliva mezi hladinou a spodním okrajem trubičky 2.

Tohoto typu palivoměru se užívá například u letadla C-106.

Před uzavřením této kapitoly si ještě uvedeme, že v moderní době je snahou slučovat jednotlivé ukazatele různých přístrojů do jednoho přístroje, protože prostoru na palubní desce je nutné využívat pro jiné účely.

Jedním takovým příkladem je užití třinásobného ukazatele, který schématicky znázorňuje obrázek 13.31.

Tento kombinovaný přístroj slučuje tři důležité přístroje pro kontrolu chodu motoru, tj. tlakoměr oleje, tlakoměr paliva a teploměr oleje.



Obr. 13.31. Číselník třinásobného ukazatele (teploty oleje, tlaku paliva a tlaku oleje).

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Nejdůležitějšími přístroji pro kontrolu chodu motoru jsou: otáčkoměr, tlakoměr oleje, tlakoměr paliva, teploměr oleje a palivoměr. Otáčkoměry jsou odstředivé, magnetické přímé nebo s dálkovým přenosem údaje.

U mechanických otáčkoměrů se měří buď pohyb objímky ramen závažíček (odstředivý otáčkoměr), nebo se užívá principu vířivých proudů (magnetický otáčkoměr).

Základním elementem tlakoměru oleje je Bourdonovo pero, které se při změnách tlaku deformuje. Tyto deformace, převedené na ručičku, měříme.

Základními typy teploměrů, užívaných pro měření teploty oleje jsou: rtuťové, plněné tekavou kapalinou a elektrické odporové. U prvních dvou typů se změna teploty převádí na změnu tlaku, která se pak měří Bourdonovým perem. U třetího typu se využívá změny elektrického odporu odporového tělíska vlivem změny teploty.

Palivoměry jsou buď plovákové nebo pneumatické.

U plovákových palivoměrů zjišťujeme různým způsobem změnu polohy plováku v nádrži při změnách množství paliva v nádrži, u pneumatického palivoměru měříme hydrostatický tlak paliva v nádrži.

Kontrolní otázky

1. Jaké hlavní přístroje pro kontrolu chodu motoru znáte?
2. Popište funkci odstředivého otáčkoměru!
3. Popište funkci magnetického otáčkoměru!

4. Jakých systémů se užívá pro dálkový přenos údaje otáčkoměru?
5. Co je to synchronoskop?
6. V jakých hodnotách se pohybují otáčky motoru Walter Minor 4-III?
7. Co je základním elementem tlakoměrů oleje a paliva?
8. V jakých hodnotách se pohybují tlaky oleje u motoru Walter Minor 4-III?
9. V jakých hodnotách se pohybují tlaky paliva u motoru Walter Minor 4-III?
10. Jaké typy teploměrů znáte a co se jednotlivými typy měří?
11. Jakých typů teploměrů se užívá pro měření teploty oleje?
12. Popište teploměr plněný rtutí!
13. Popište teploměr plněný těkavou kapalinou a jejími parami!
14. V jakých hodnotách se pohybují teploty oleje u motoru Walter Minor 4-III a nač musíme dát pozor?
15. Popište typy plovákových palivoměrů!
16. Popište funkci pneumatického palivoměru!

Drakem letadla rozumíme celou konstrukci letadla kromě motorové jednotky a jejího příslušenství.

Přístroji pro kontrolu draku kontrolujeme většinou vzájemnou polohu určitých vzájemně pohyblivých částí draku letadla (například polohu vztlakových klapek, brzdících klapek, kormidel, vyvažovacích plošek, zatahovacího podvozku), nebo určité parametry jednotlivých částí draku letadla (například tlak vzduchu ve vzduchových brzdách podvozku), nebo parametry prostředí pilotní kabiny (například tlak a teplota vzduchu v přetlakové kabině).

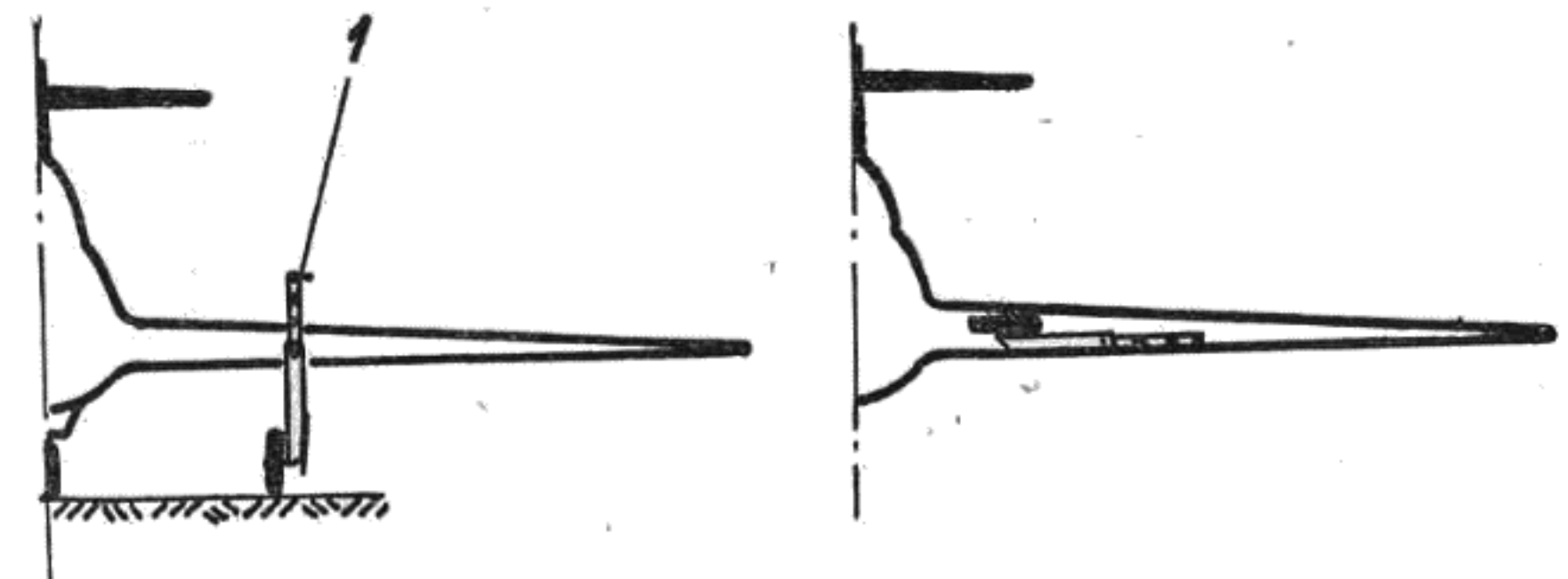
Ve sportovních letadlech (tj. ve většině motorových letadel, používaných ve Svazarmu) setkáme se většinou jen s přístroji, udávajícími vzájemnou polohu určitých, vzájemně pohyblivých částí draku letadla, tj. s tzv. polohoznaky.

Mechanické polohoznaky

Nejjednodušším mechanickým polohoznakem je tyčkový ukazatel polohy podvozku. Jeho funkci znázorňuje obrázek 14.1.

Je-li podvozek vysunut (obrázek vlevo) vyčnívá červenobílá tyčinka 1 z křídla. Je-li podvozek zasunut (obrázek vpravo), je tyčinka 1 ukryta v křídle. Tím máme velmi jednoduchou kontrolu polohy podvozku.

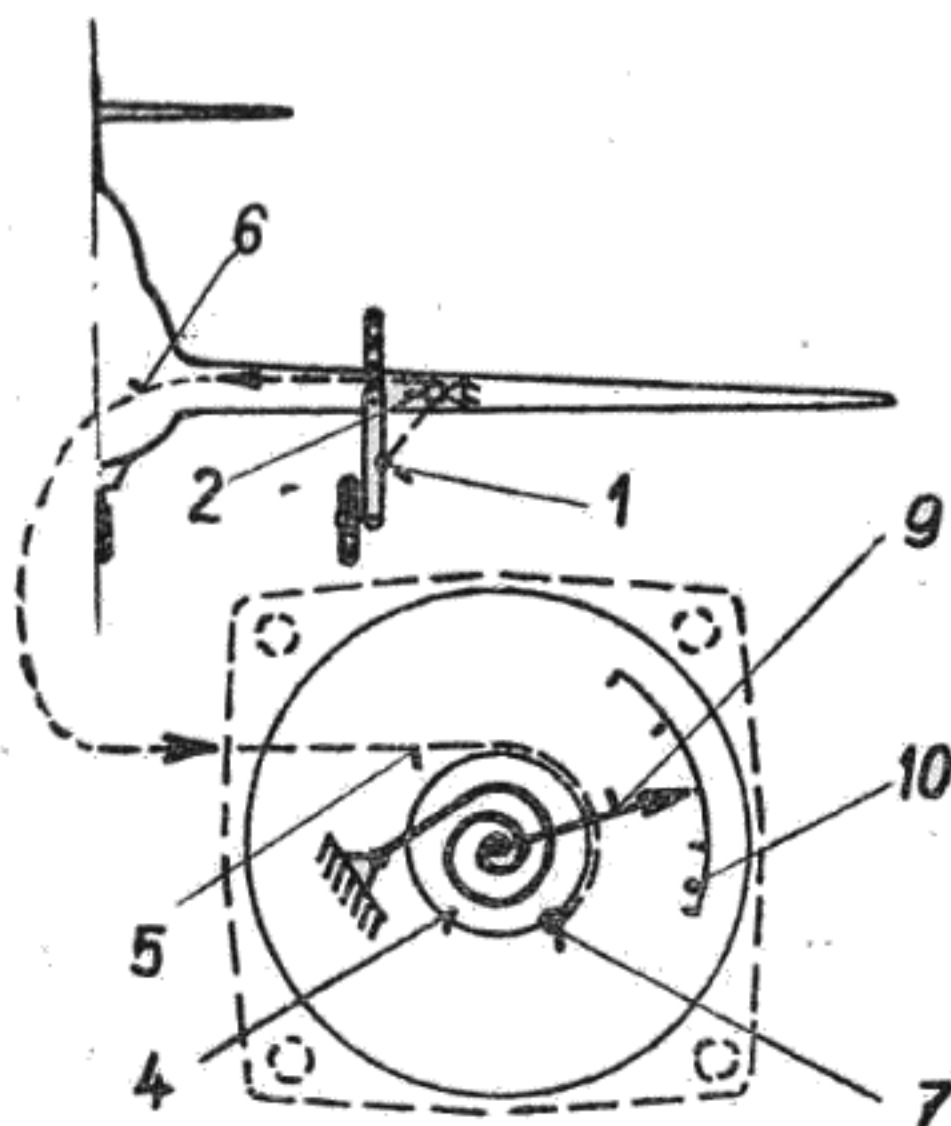
I když se zdá tento polohoznak velmi primitivní, užívá se ho v různých konstrukčních obměnách i u nejmodernějších letadel.



Obr. 14.1. Tyčkový ukazatel polohy podvozku.
1 – červenobílá tyčinka.

Polohoznak s řetízkem je dalším typem mechanického polohoznaku. Jeho funkce je zřejmá ze schematického obrázku 14.2.

Na podvozku (nebo vztlakové klapce apod.) je uchycen konec lanka 1 tak, aby se při změně polohy podvozku nebo vztlakové klapky apod. muselo lanko vytahovat nebo povolovat, jak je vidět na obrázku 14.2.



Obr. 14.2. Polohoznak s řetízkem.

1 - konec lanka na vzpěře podvozku, 2 - kladka, 4 - kotouč, 5 - řetízek, 6 - lanko, 7 - místo uchycení konce řetízku na kotouči, 9 - ručička, 10 - stupnice.

Jeden konec lanka je uchycen na podvozkové vzpěře v místě 1. Lanko je vedeno přes kladku v křídle 2 do ukazovacího přístroje. V přístroji je kotouč 4, na který se navíjí druhý konec lanka, který v této části lanka tvoří řetízek 5. Konec řetízku 5 je pevně zachycen na kotouči 4 v místě 7. Řetízek (a tím i lanko 6) stále napíná pružina. S kotoučem 4 je pevně spojena ručička 9, která ukazuje na stupnici 10. Na stupnici jsou vyznačeny jednotlivé charakteristické polohy podvozku.

Změní-li se poloha podvozku (podvozkové vzpěry), bude se bod uchycení lanka 1 pohybovat, lanko s řetízkem

se bude působením pružiny navíjet na kotouč 4, takže ručička ukazovacího přístroje 9 ukáže příslušnou polohu podvozku.

Obdobně je možno tohoto přístroje použít jako ukazatele polohy vztlakových klapek, kormidel apod.

Do této skupiny polohoznaků můžeme též zařadit jednoduché polohoznaky, kde polohu příslušné části draku ukazuje přímo ovládací páka v pilotní kabině.

S takovými polohoznaky, i když nejsou přístroji v pravém slova smyslu, setkáme se u větroňů. Polohu vztlakových klapek, brzdících klapek, vyvažovacích plošek nebo zatahovacího podvozku nám ukazuje přímo ovládací páka vztlakových klapek, páka brzdících klapek, páka ovládání vyvažovacích plošek nebo páka ovládání zatahovacího podvozku.

U ovládací páky příslušné části draku je potom buď nápis „zasunut“ - „vysunut“ apod. v místě polohy ovládací páky, která od-

povídá příslušné poloze sledované části draku, nebo v novější době u jednotlivých poloh ovládacích pák schematický obrázek, který jednoznačně charakterizuje polohu sledované části draku.

Elektrické polohoznaky

V dnešní době se stále více užívá elektrických polohoznaků.

Polohoznak s kontrolními žárovkami je nejjednodušším typem elektrického polohoznaku.

V základních polohách sledované části draku letadla jsou elektrické kontakty, které při sepnutí spínají elektrický okruh vždy určité žárovky, které jsou umístěny v kontrolním přístroji na palubní desce. Tak například při zcela vysunutém podvozku svítí zelená žárovka, při zasunutém podvozku svítí červená žárovka.

Elektrický polohoznak s plynulým údajem je nejčastěji užívaným typem elektrického polohoznaku. Pro dálkový přenos údaje polohy sledované části draku na ukazovací přístroj se užívá mnoho rozličných způsobů dálkového elektrického přenosu.

Nejčastěji užívaným typem (na letadlech Svazarmu téměř výhradně) je dálkový přenos s potenciometrem, zapojeným do elektrického obvodu ukazovacího přístroje.

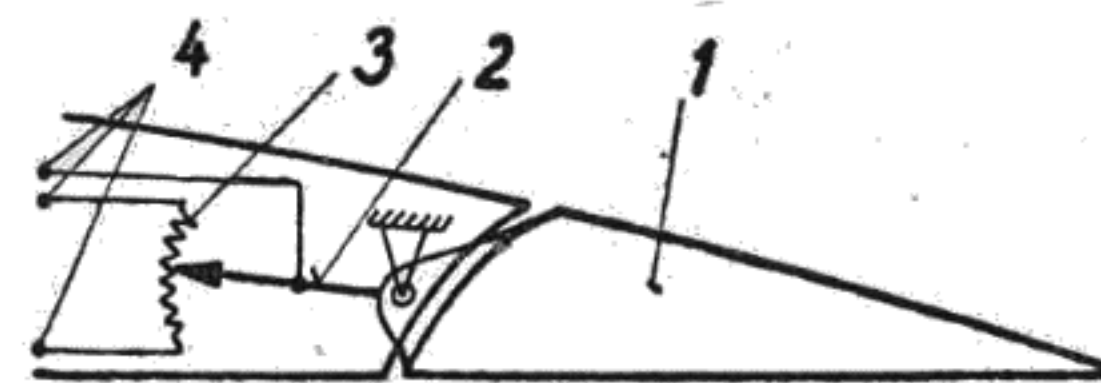
Potenciometrem rozumíme vinutí z elektrického odporového drátu, po kterém se pohybuje běžec, spojený se sledovanou částí draku. Potenciometr má vždy tři vývody.

Na obrázku 14.3 vidíme umístění potenciometru u vztlakové klapky.

Na vztlakové klapce 1 je nasazen běžec potenciometru 2, který se pohybuje společně s klapkou, protože je s ní pevně spojen. Běžec potenciometru 2 se při pohybech klapky pohybuje po vinutí potenciometru 3. Oba konce vinutí potenciometru a běžec jsou dráty 4 spojeny s přístrojem na palubní desce.

Elektrické zapojení potenciometru a ukazovacího přístroje může být různé. Popíšme si jedno z nejčastěji používaných zapojení, a to zapojení do tzv. Wheatstoneova můstku.

1 a 2 jsou stejné pomocné elektrické odpory. Ve spodní části obrázku 14.4 je potenciometr 3 (který známe již z obrázku 14.3), který je s vlastním ukazovacím přístrojem v horní části obrázku spojen

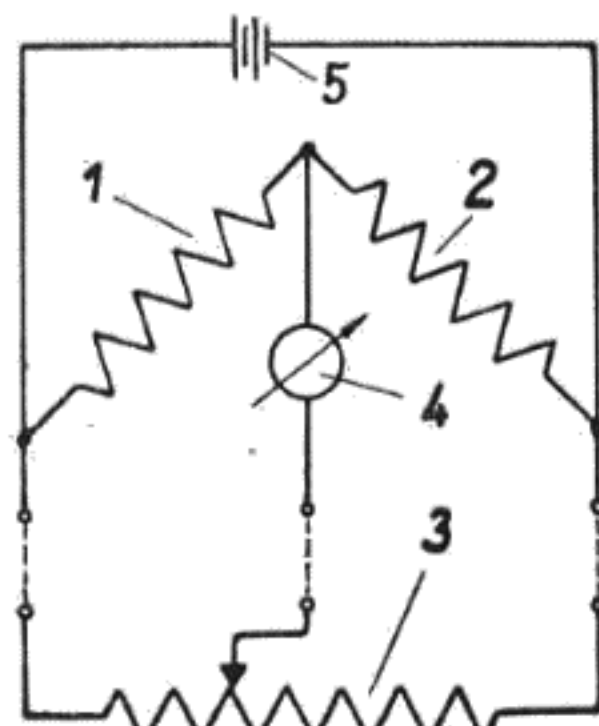


Obr. 14.3. Umístění potenciometru u vztlakové klapky.

1 - vztlaková klapka, 2 - běžec potenciometru, 3 - vinutí potenciometru, 4 - elektrické vedení.

dálkovým elektrickým vedením, znázorněným čárkovaně odpovídajícím drátům 4 v obrázku 14.3.

4 je jemný elektrický ukazovací přístroj (galvanoměr). Celý Wheatstoneův můstek, jak se zapojení podle obrázku 14.4 nazývá, je připojen na baterii 5.



Obr. 14.4. Schéma zapojení potenciometru do Wheatstoneova můstku.

1 a 2 – stejné pomocné elektrické odpory, 3 – potenciometr (u vztlakové klapky), 4 – galvanoměr, 5 – baterie.

Je-li běžec potenciometru uprostřed vinutí, mají obě větve můstku stejný elektrický odpor: na levé straně je odpor 1 a polovina vinutí potenciometru, na pravé straně odpor 2 (stejný jako odpor 1) a druhá polovina vinutí potenciometru; galvanoměr ukazuje nulu, protože podle zákonů elektrotechniky jím neprotéká žádný proud.

Vychýlí-li se vztlakové klapky, vychýlí se i běžec potenciometru. Obě poloviny Wheatstoneova můstku nebudou již stejné a galvanoměr ukáže určitou výchylku.

Stupnice galvanoměru je cejchována přímo v úhlových stupních polohy vztlakové klapky.

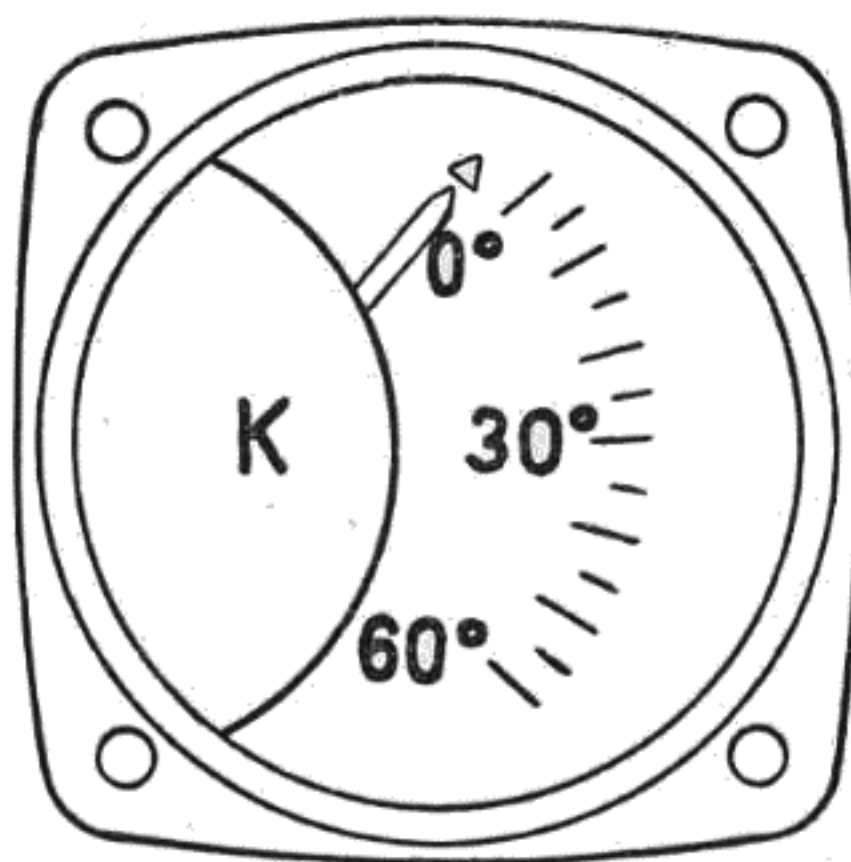
Na obrázku 14.5 je číselník ukazatele polohy vztlakových klapek, který užívá právě popsaného principu.

Aby se na palubní desce ušetřilo místo, ukazovací přístroje polohoznaků různých částí draku letadla se často slučují do jednoho kombinovaného ukazatele.

Na obrázku 14.6 vidíme příklad takového kombinovaného ukazatele, udávajícího polohu jednotlivých kol tříkolového zatahovacího podvozku a polohu vztlakových klapek.

Na levém obrázku v obrázku 14.6 čteme na ukazateli, že levé hlavní podvozkové kolo je zcela vysunuto, pravé hlavní podvozkové kolo a přední podvozkové kolo jsou jen částečně vysunuty, a že vztlakové klapky jsou zcela vysunuty.

Na pravém obrázku čteme na



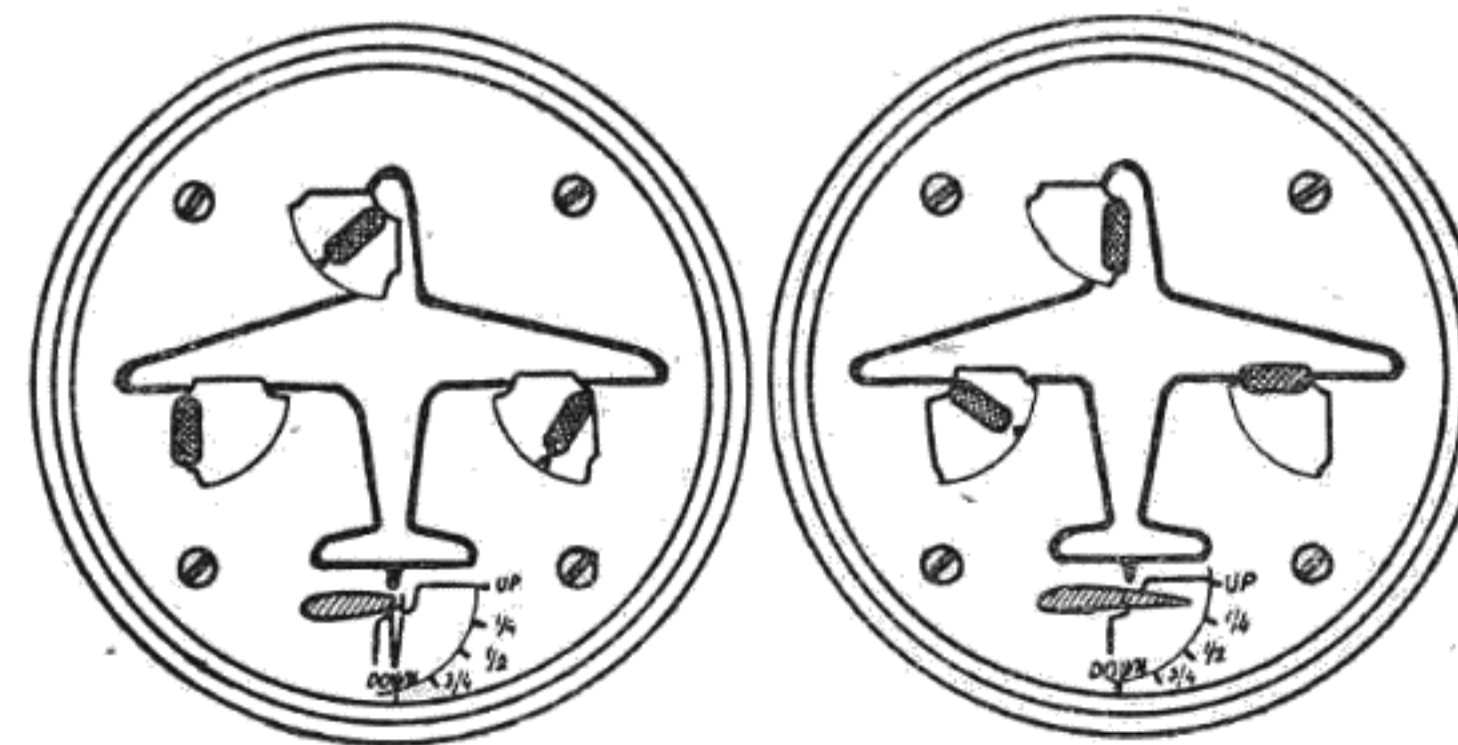
Obr. 14.5. Číselník ukazatele polohy přistávacích klapek s dálkovým přenosem údaje (potenciometrem).

ukazateli, že levé hlavní podvozkové kolo je částečně vysunuto, pravé hlavní podvozkové kolo a přední podvozkové kolo jsou zcela zasunuty, a že vztlakové klapky jsou zcela zasunuty.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Přístroje pro kontrolu draku slouží ke kontrole parametrů a polohy určitých částí draku letadla.

Přístroje, udávající polohu určité pohyblivé části draku letadla, nazýváme polohoznak. Polohoznak jsou buď mechanické nebo elektrické.



Obr. 14.6. Kombinovaný ukazatel polohoznaku (tři kol tříkolového podvozku a vztlakových klapek).

U mechanických polohoznaků se mechanicky přenáší pohyb sledované části draku buď na palubní desku nebo na místo na letadle, které je pilotovi dobře viditelné.

U elektrických polohoznaků se poloha sledované části draku přenáší elektricky na ukazovací přístroj na palubní desce.

Kontrolní otázky

1. Co sledujeme přístroji pro kontrolu draku?
2. Popište některý mechanický polohoznak!
3. Popište polohoznak s dálkovým elektrickým přenosem údaje!
4. Jak vypadá číselník ukazatele elektrického polohoznaku?
5. Jak vypadá čelní deska kombinovaného polohoznaku?

15. DÝCHAČE

15.1. ZNALOSTI SOUVISEJÍCÍ S POUŽITÍM DÝCHAČŮ

Lidský organismus je přizpůsoben životu na Zemi a snáší pobyt v její bezprostřední blízkosti až asi do výšky 2000–4000 metrů, kde se pobyt stává nebezpečným a je nutno použít dýchačů.

Podle předpisu Svazarmu musí každý pilot, který překročí výšku 4000 metrů nad mořem použít dýchače. Pobyt nad touto výškou, zvláště trvá-li delší dobu, stává se nebezpečným. Pro výšky větší než 12 000 metrů nestačí již ani užití dýchače, ale musí se užít přetlakové kabiny, protože tlak vzduchu v této výšce je již tak malý, že jej organismus člověka nedovede vyrovnat. Při tak malém tlaku již například vře krev. I když větroně dosahují těchto výšek jen velmi zřídka, musíme si podmínky pobytu v těchto výškách náležitě objasnit, protože máme ještě na paměti smrt známého švédského plachtaře Övgarda, který v roce 1948 dosáhl při letu v dlouhé vlně výšky přes 14 000 metrů a ačkoliv byl vybaven dýchačem, zemřel následkem překročení kritické výšky 12 000 metrů a delšího pobytu nad touto hranicí.

Připomeňme si, že světový výškový rekord jednosedadlových větroňů je 12 832 metrů (držitelem je W. S. Ivans z USA od 30. 12. 1950), při převýšení 9174,5 metrů; dvousedadlových větroňů 13 489 metrů (držiteli jsou L. E. Edgar a H. E. Klieforth z USA od 19. 3. 1952), při převýšení 10 493 metrů. Oba lety byly provedeny tak, aby pobyt nad výškou 12 000 metrů byl co nejkratší, ovšem i tak byly lety značně riskantní. Oba rekordní lety byly provedeny ze střediska Bishop v Kalifornii.

Základní pojmy o atmosféře

Před prováděním výškových letů musíme znát dokonale podmínky letů ve velkých výškách a musíme se tedy důkladně seznámit s vlastnostmi atmosféry v různých výškách.

Pobyt ve velké výšce působí na duševní stav člověka, snižuje jeho pracovní schopnost, sebekritiku a ohrožuje i jeho život.

Již ve 3. kapitole této knihy jsme si řekli, že Zemi obklopuje vrstva vzduchu, která sahá do výšky 300–500 km. Poslední zbytky vzduchu jsou ve výšce asi 1000 km. Vrstvu vzduchu, která obklopuje naši Zemi, nazýváme atmosférou.

Nás zajímá především vrstva atmosféry bezprostředně u povrchu Země, a to do výšky asi 11 km. Této přízemní vrstvě atmosféry říkáme troposféra. Sahá do výšky asi 11 km, ovšem vlivem rotace Země je její výška nad póly nižší (asi 8 km) a nad rovníkem vyšší (asi 18 km).

V troposféře se odehrávají všechny meteorologické děje (až na malé výjimky) a tato vrstva atmosféry je také nejvíce prozkoumána. Další vrstvou atmosféry asi od 11 km do 80 km je stratosféra, výše potom do výšky asi 480–960 km ionosféra.

Všechny popsané vrstvy atmosféry nemají samozřejmě ostré ohraničení, jsou charakterizovány jen zcela určitými fyzikálními vlastnostmi.

Jak jsme si již řekli, zajímá nás převážně nejspodnější vrstva atmosféry, troposféra.

Vyznačuje se téměř pravidelným úbytkem teploty s výškou, pravidelným úbytkem tlaku vzduchu s výškou, pravidelným úbytkem měrné hmoty vzduchu s výškou atd. Jak jsme si již uvedli ve 3. kapitole, klesá teplota s výškou podle podmínek standardní atmosféry pravidelně od 15° C při hladině moře na –56,5° C na horní hranici troposféry. Nad výškou 11 km zůstává potom asi do výšky 30 km konstantní.

Aby bylo možné porovnávat výkony letadel, cejchovat přístroje podle určitých pravidel, užíváme hodnot Mezinárodní standardní atmosféry. Ta určuje závislosti jednotlivých veličin mezi sebou i závislosti určitých veličin při změnách výšky. Tyto charakteristiky jsou uvedeny ve 3. kapitole této knihy.

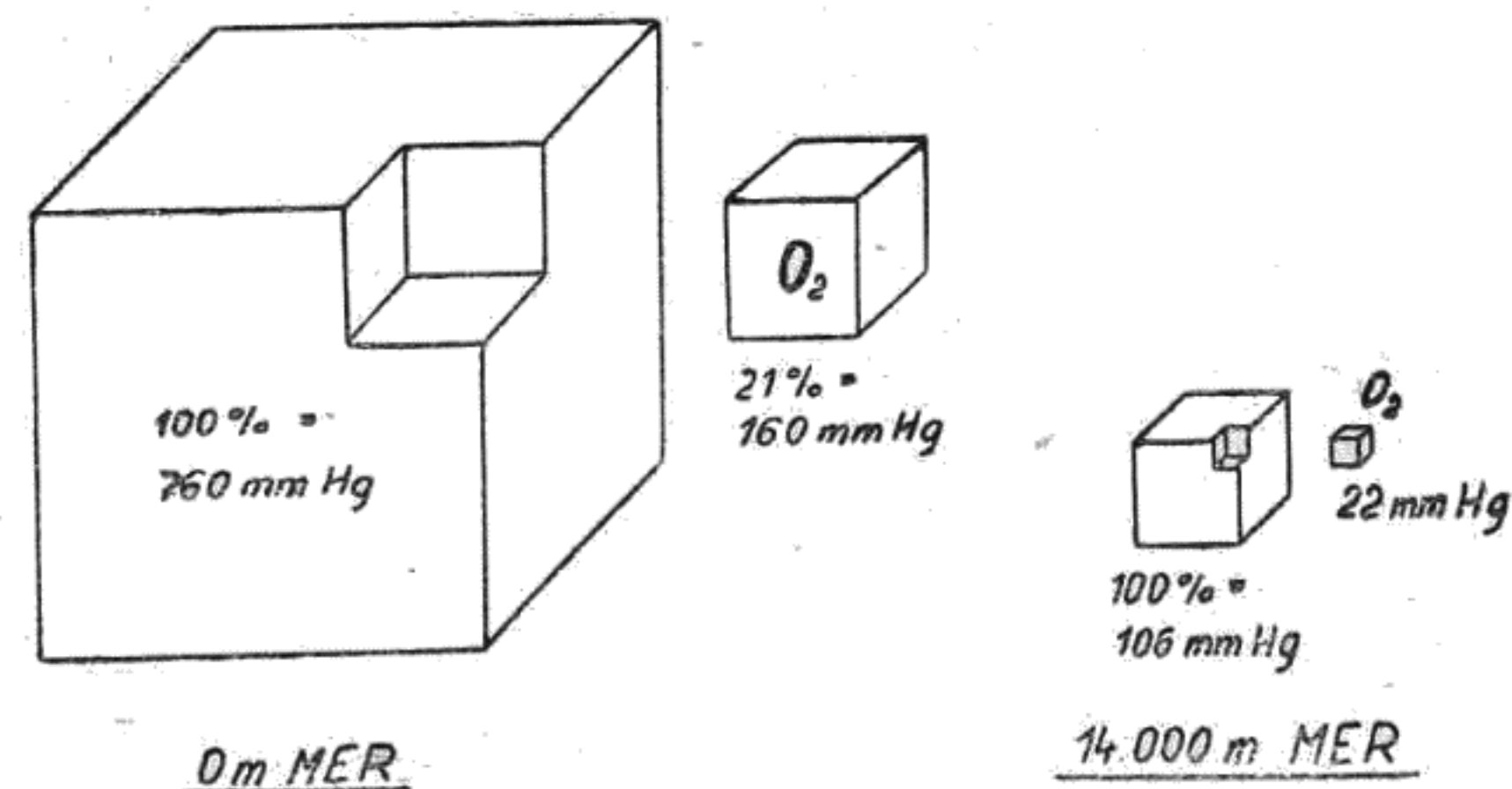
Doplňme si uvedené hodnoty jen některými pojmy, které souvisejí s použitím dýchačů.

Složení vzduchu a parciální tlak kyslíku

Při základním tlaku v nulové výšce při hladině moře podle standardní atmosféry 760 mm Hg = 760 tor obsahuje vzduch přibližně 78 % dusíku, 21 % kyslíku a 1 % vzácných plynů (argonu, neónu, hélia, vodíku, kryptonu, xenonu, ozónu a radonu), dále kysličníku uhličitého a určitého množství vodní páry. Uvedena jsou % objemu.

Složení vzduchu, zvláště máme-li na mysli troposféru, můžeme považovat za konstantní.

Na lidský organismus má vliv hlavně takzvaný parciální tlak kyslíku. Parciálním tlakem rozumíme takový tlak kyslíku, jaký by měl v případě, že by zaujímal sám celý objem vzduchu. Je to tedy také tlak, který je úměrný celkovému tlaku vzduchu. Náznorně si parciální tlak můžeme představit jako určitý „díl“ tlaku vzduchu, jak vidíme na obrázku 15.1.



Obr. 15.1. Poměr tlaku atmosférického vzduchu a parciálního tlaku kyslíku ve výšce hladiny moře a ve výšce 14 000 metrů nad hladinou moře.

V obrázku je vlevo znázorněn parciální tlak kyslíku pro výšku hladiny moře a podmínky Mezinárodní standardní atmosféry, tj. tlak 760 mm Hg, a teplotu 15° C.

V pravém obrázku 15.1. je znázorněn parciální tlak kyslíku pro výšku 14 000 metrů nad mořem.

Vliv pobytu ve velkých výškách na organismus člověka

Shrňme-li si nyní poznatky o vlivu pobytu člověka ve velkých výškách na jeho organismus, vidíme, že člověk je vystaven podmínkám, na které není disponován a jeho organismus musí být proto chráněn.

Při pobytu ve velké výšce dostáváme se do oblasti nižšího atmosférického tlaku vzduchu, nižší teploty a nižší vlhkosti. Na lidský organismus působí hlavně pokles barometrického (atmosférického) tlaku vzduchu, pokles teploty a vlhkosti mají vliv podřadnější a jejich vlivům dá se čelit snadněji než vlivu poklesu barometrického tlaku vzduchu. Současně s poklesem barometrického tlaku vzduchu klesá i parciální tlak kyslíku.

Velmi nízká teplota způsobuje větší tepelné ztráty organismu, narušuje krevní oběh v kožní tkáni při nedostatečném tlaku vzduchu.

Snížená vlhkost vzduchu způsobuje vysychání sliznic a zvyšuje ztrátu tepla, vyvolanou odpařením zvýšeného množství vody v plicích.

Člověk vydrží několik týdnů bez potravy, několik dnů bez vody, protože může žít ze zásob, nashromážděných v těle. Bez kyslíku vydrží však člověk jen asi 4÷6 minut, poněvadž zásoba kyslíku je v lidském organismu nepatrná.

Základní poznatky z fyziologie dýchání

Kyslík, potřebný k životu, vdechuje se spolu s atmosférickým vzduchem do plic. Při vdechu vstupuje vzduch do plicních komůrek, nazývaných plicní sklípky (alveoly). Takových plicních sklípků (alveol) je v plicích člověka velké množství, jejich celková plocha je asi 90 m².

Alveoly pokrývá zvláštní sliznice, schopná odebírat ze vzduchu kyslík a předávat ho krvi. Alveoly jsou dále obaleny bohatou sítí krevních vlásečnic, které umožňují snadnou výměnu plynů mezi plicními sklípkami (alveolami) a krví.

Při dýchání prochází kyslík, obsažený ve vdechovaném vzduchu, stěnami plicních sklípků do cév, krev se kyslíkem nasycuje a zásobuje jím jednotlivé orgány lidského těla.

Krev, která se vrací zpět do plic, je tedy odkysličená a oproti vzduchu, který z plic odchází, obsahuje vracející se vzduch značné množství kysličníku uhličitého.

Proto i parciální tlak kyslíku odkysličené krve je menší než parciální tlak kyslíku krve okysličené.

Množství vzduchu vdechovaného a vydechovaného za jednu minutu nazýváme plicní ventilací. Plicní ventilace se udává v litrech za minutu.

Velikost plicní ventilace závisí na celé řadě činitelů, například na velikosti fyzické námahy člověka, na individuální stavbě organismu, na teplotě okolí, na okamžitém stavu člověka.

Při normálním dýchání (vsedě a v klidu) dělá člověk asi 16 vdechů a výdechů za minutu, přičemž vdechne a vydechne asi půl litru vzduchu.

Plicní ventilace je dána součinem množství vdechovaného vzduchu a počtem vdechů, a bude tedy pro náš případ:

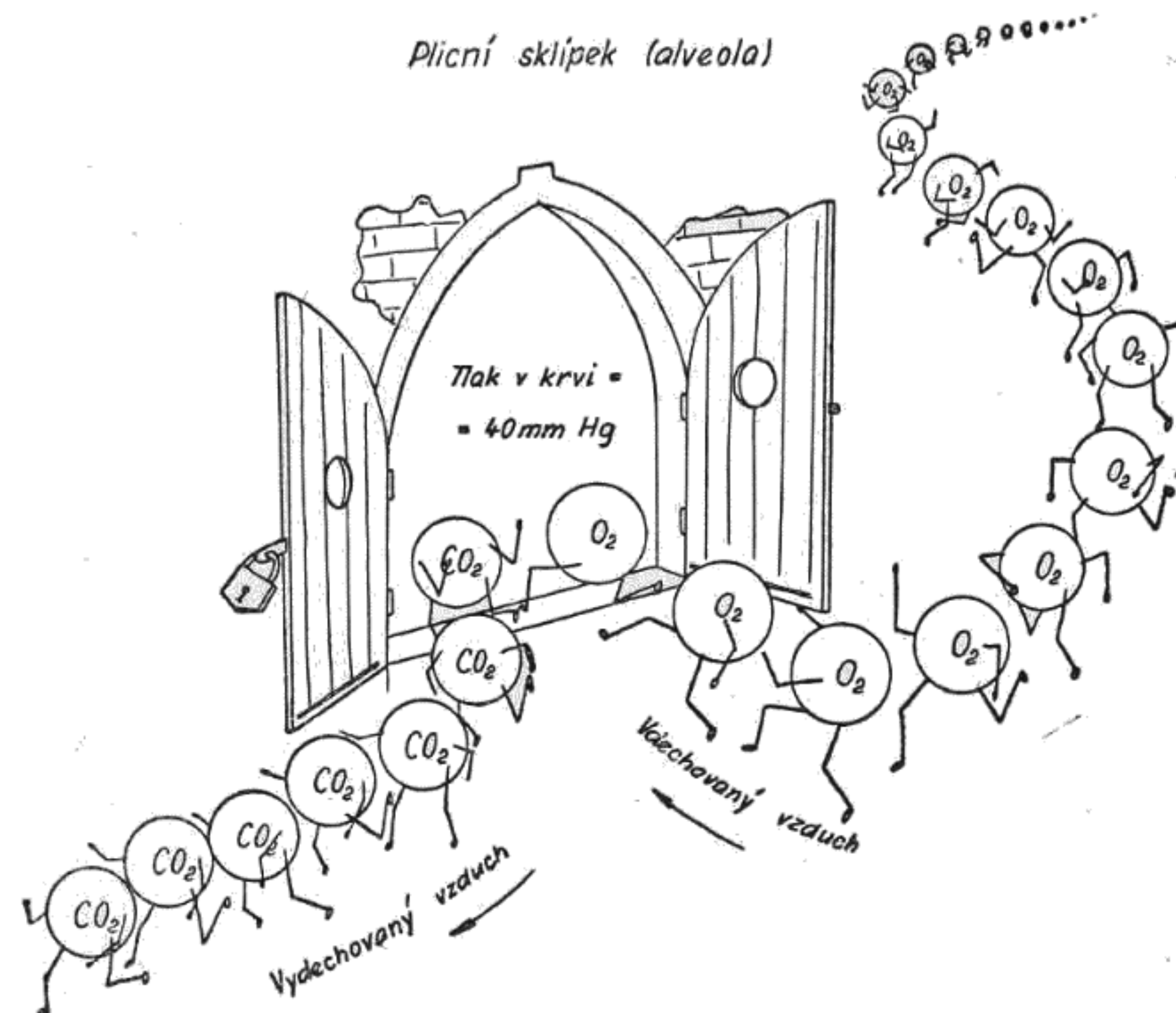
$$16 \times 0,5 = 8 \text{ litrů za minutu}$$

Při střední fyzické námaze se dýchání zrychlí asi na 20 vdechů a výdechů za minutu a plicní ventilace bude tedy $20 \times 0,5 = 10$ litrů za minutu.

Při velmi hlubokém dýchání může člověk vdechnout a vydechnout najednou až 4 litry vzduchu, přičemž zůstane v plicích ještě asi 1 litr vzduchu.

Množství kyslíku, které přichází do plic s vdechovaným vzduchem, nazýváme vdechované množství kyslíku.

Z tohoto množství kyslíku je menší část využita a daleko větší část je vydechována zpět do vzduchu. Při normálním dýchání vyměňuje se v plicích jen asi jedna desetina až jedna třetina celkového vdechovaného objemu vzduchu. Zbytek vzduchu zůstává kratší nebo delší dobu v alveolách.



Obr. 15.2. Výměna vzduchu v plicním sklípku.

Část kyslíku z alveolárního vzduchu přechází postupně do krve a na jeho místo se z krve vylučuje kysličník uhličitý. K obohacení krve kyslíkem dochází v okamžiku průchodu vzduchu přes alveoly (plicní sklípky) a to následkem rozdílného parciálního tlaku kyslíku v alveolárním vzduchu (100 mm Hg) a parciálního tlaku kyslíku v žilách (40 mm Hg). Tímto přetlakem přechází kyslík ze vzduchu do krve. Tento pochod probíhá při vdechu až do vyrovnání tlaků na 100 mm Hg.

Současně s pohlcováním kyslíku vlivem rozdílného parciálního tlaku kysličníku uhličitého v žilné krvi (45 mm Hg) a v alveolárním vzduchu (40 mm Hg) dochází při vydechování k opačnému pochodu, to znamená k přechodu kysličníku uhličitého z žilné krve do alveolárního vzduchu. Touto výměnou plynů se žilná krev mění v krev tepennou a na každých 100 cm³ svého objemu získává 5 cm³ kyslíku a vydává asi 4 cm³ kysličníku uhličitého.

Nositelem kyslíku v krvi je bílkovinné barvivo hemoglobin, obsažené v červených krvinkách (erytrocytech), které představují $41 \div 46$ % objemu krve člověka. Počet červenýchrvinek v krvi je značný. Jejich celková plocha dosahuje asi 2000 m^2 .

Krev nasycená kyslíkem postupuje od srdce a odtud se tepnami rozvádí po celém těle do nejmenších kapilárních cév, spojených s buňkami organismu. Rozdílem tlaku kyslíku a kysličníku uhlíčitěho v cévách a buňkách dojde k přechodu kyslíku z krve do buněk a naopak k přechodu kysličníku uhlíčitěho z buněk do krve.

Na obrázku 15.3 vidíme schéma krevního oběhu člověka. Kyslík je označen O_2 , kysličník uhlíčitý je označen CO_2 .

Následkem velkého povrchu alveol a značného povrchu červenýchrvinek převede se za každou minutu u člověka v klidu při normálním barometrickém tlaku okolního vzduchu do krve asi 250 cm^3 kyslíku a současně se do vzduchu předává asi 200 cm^3 kysličníku uhlíčitěho. Přitom předpokládáme, že v lidském těle je průměrně asi 5 litrů krve. Toto množství krve srdce každou minutu přečerpává.

Při fyzické námaze se oběh krve několikrát zvětší.

Alveolární vzduch obsahuje také vodní páru z krve a z tekutin tkání, odpařenou v plicích. Proto musí mít alveolární vzduch jiné složení a tedy i jiné parciální tlaky než má vdechovaný vzduch ($13 \div 14,5$ % kyslíku při tlaku $100 \div 110 \text{ mm Hg}$, $4,9 \div 5,9$ % kysličníku uhlíčitěho při tlaku $37 \div 45 \text{ mm Hg}$, $73,5 \div 76,5$ % dusíku

Pro doplnění si uvedme ještě tabulku hodnot barometrického tlaku vzduchu, parciálního tlaku kyslíku v atmosférickém vzduchu a parciálního tlaku kyslíku v alveolárním vzduchu pro určité výšky letu.

Tlaky jsou uvedeny v mm Hg (torech), výšky v km.

Výška letu	0	2	4	6	8	10	12	14
Tlak atmosférického vzduchu	760	596	462	354	267	198	145	106
Parciální tlak kyslíku v atmosférickém vzduchu	160	125	97	74	56	42	31	22
Parciální tlak kyslíku v alveolárním vzduchu	100	76	50	35	—	—	—	—

Z tabulky vidíme, že parciální tlak kyslíku v alveolárním vzduchu ubývá se vzrůstající výškou rychleji než parciální tlak kyslíku atmosférického vzduchu, který vdechujeme.

Výšková nemoc

Výškovou nemocí nazýváme souhrnně poruchy v lidském organismu, které vyvolává nedostatek kyslíku ve vdechovaném vzduchu.

Při výstupu do větší výšky projevuje se výšková nemoc tím více, čím nižší je parciální tlak kyslíku, čím větší je výška letu a čím delší dobu se v této výšce zdržujeme.

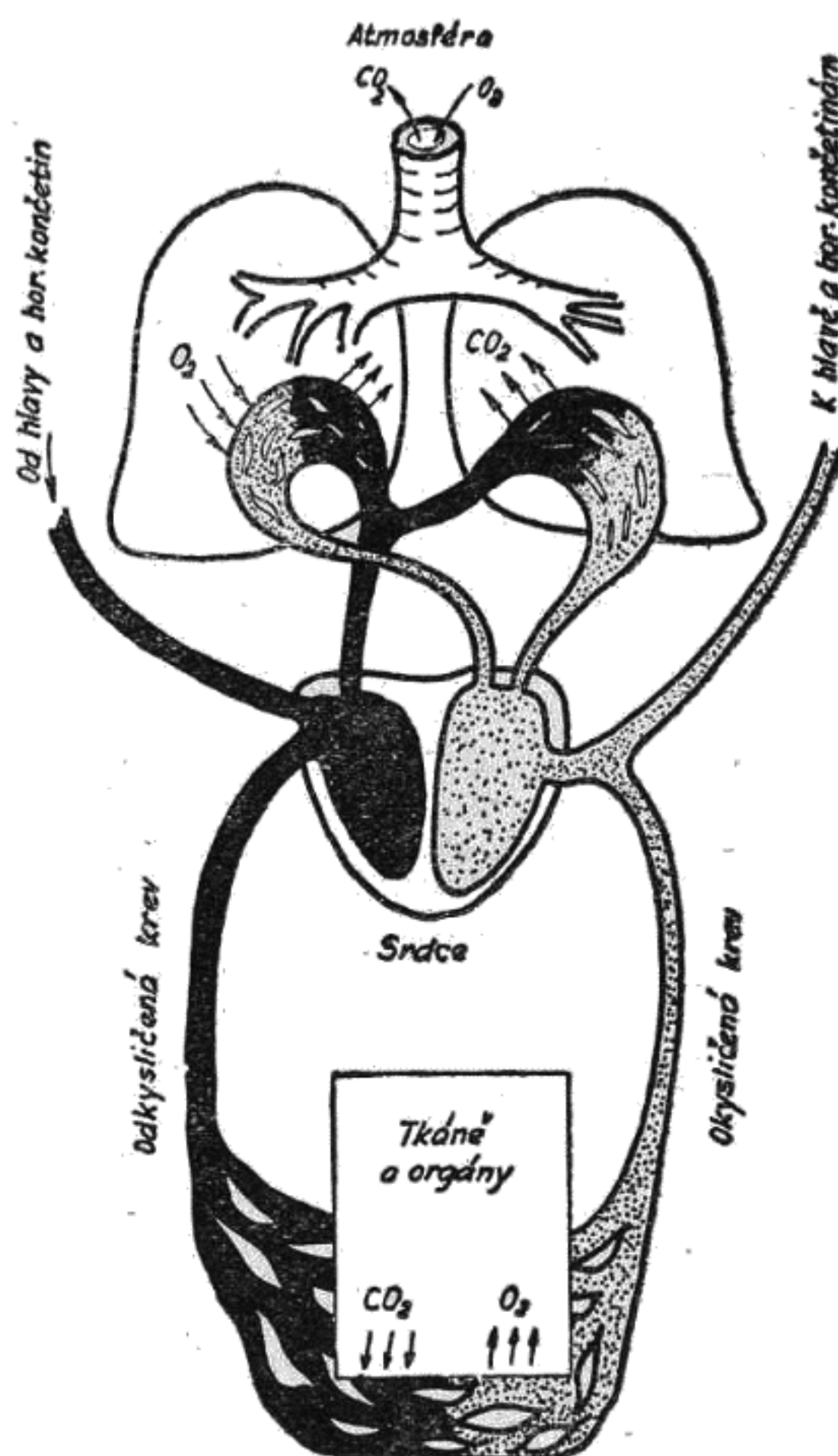
Příznaky výškové nemoci v určitých výškách letu

a) Oblast od 1500 do 2000 metrů nad mořem

V této oblasti je parciální tlak kyslíku v alveolárním vzduchu $75 \div 85 \text{ mm Hg}$. Zvýšením srdeční činnosti nám organismus sám vyrovnává nedostatek kyslíku. V mnoha případech však nedostatek kyslíku zmenšuje schopnost prostorového vidění a vidění ve tmě, proto se podle předpisů má při nočních letech používat dýchačů již pro tyto výšky letu.

b) Oblast nad 4000 metrů nad mořem

V této oblasti (ve výšce 4000 metrů nad mořem) je parciální tlak kyslíku v alveolárním vzduchu 50 mm Hg . Nedostatek kyslíku se projevuje porušením funkce kůry velkého mozku a i jiných částí centrálního nervového systému. Tento stav se projeví dýchacími obtížemi, svalovou slabostí, rychlou únavou, závratí



Obr. 15.3. Schéma krevního oběhu člověka.

při tlaku $558 \div 576 \text{ mm Hg}$, a $6 \div 6,2$ % vodních par při tlaku 47 mm Hg).

Ze zkušenosti víme, že liší-li se parciální tlaky kyslíku a kysličníku uhlíčitěho v alveolárním vzduchu od uvedených parciálních tlaků, dochází k poruše činnosti nervového systému i jiných orgánů v lidském těle. Proto je třeba, aby za všech okolností byl parciální tlak kyslíku v alveolárním vzduchu $100 \div 110 \text{ mm Hg}$ a parciální tlak kysličníku uhlíčitěho kolem 40 mm Hg .

apod. Nejnebezpečnější je, že pilot uvedené příznaky nepozoruje, dokonce se cítí výtečně, je veselý, plný optimismu a je omámen jako po požití mírného množství alkoholu.

c) *Oblast kolem 5000 metrů nad mořem*

Tuto oblast charakterizuje příznak silného poklesu sebekritiky. Při delším pobytu v této výšce může nastat náhlá ztráta vědomí bez jakýchkoliv předběžných příznaků nevolnosti.

d) *Oblast od 6000 do 7000 metrů nad mořem*

V této výšce (6000 metrů nad mořem) je parciální tlak alveolárního kyslíku již jen 35 mm Hg. Výšková nemoc v této výšce je již tak velká, že pilot je na hranici ztráty vědomí a není schopen jakékoliv fyzické ani duševní námahy. Ve výšce asi 7000 metrů nad mořem je dokonce již nebezpečí smrti.

e) *Oblast kolem 9000 metrů nad mořem*

V této oblasti je již bezpodmínečně ohrožen život pilota.

Vycházíme-li z těchto poznatků vidíme, že kyslíková zařízení musí mít plně automatické a jednoduché ovládání, aby byla možná mechanická obsluha bez velkého přemýšlení.

Uvedené příznaky výškové nemoci platí samozřejmě pro případ, kdy nebylo užito dýchače.

Aeroembolismus

Při rychlém výstupu letadla vylučuje se ve výšce asi 9000 metrů nad mořem přebytečný dusík v krvi a tkáni ve formě malých bublinek. Tyto bublinky dusíku dráždí a poškozují tkáně, způsobují bolesti v kloubech a svazech, vyrážky a svědění kůže a někdy i dočasné místní ochrnutí.

Všechny tyto jevy nazýváme aeroembolismem (aero = vzduch, embollo = vy-puditi).

Uvedené jevy, aeroembolismus, vyskytují se individuálně ve výšce 9000 metrů nad mořem, pravidelně od výšky 12 000 metrů nad mořem.

Bolesti v dutinách při sníženém barometrickém tlaku

Při poklesu barometrického tlaku se rozpíná vzduch, který je uzavřen v dutinách lidského těla. Svou rozpínavostí tlačí na stěny dutin a dráždí konečky senzitivních nervů. Tím je vyvolán pocit bolesti. Bolest je tím větší, čím menší jsou možnosti snadného vyrovnání tlaku (například při rýmě apod.)

15.2. VÝŠKOVÁ VÝSTROJ LETADEL

Chceme-li bezpečně vykonat výškový let a zajistit si pracovní i životní schopnost během celého letu, musíme organismus chránit před vlivem výškové nemoci použitím výškové výstroje.

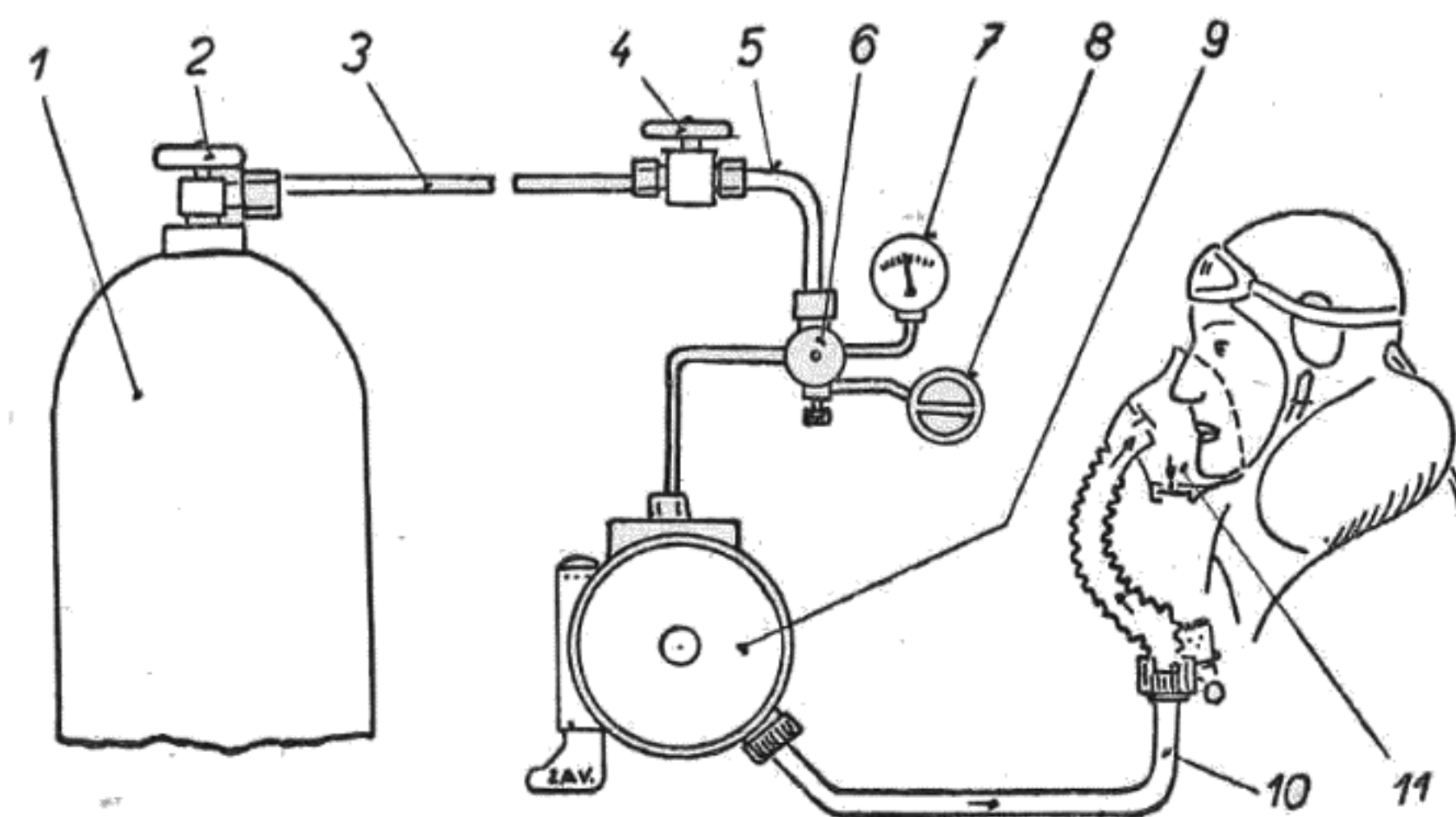
Výškovou výstroj letadel můžeme rozdělit do tří základních skupin:

a) dýchače, umožňující let do výšky maximálně 13 000 metrů nad mořem;

b) přetlakové kabiny, umožňující let do výšky 20 000–30 000 metrů nad mořem;

c) skafandry a speciální letecké kabiny, umožňující lety do velkých výšek, případně i meziplanetární lety.

Výšková výstroj v bodu b) a c) nepřichází pro většinu v úvahu, proto se budeme v dalším výkladu zabývat pouze bodem a), tj. dýchači.



Obr. 15.4. Základní schéma dýchače s plicní automatikou.

1 – kyslíková láhev, 2 – uzavírací ventil láhve, 3 – potrubí, 4 – ventil, 5 – potrubí, 6 – reduktor, 7 – tlakoměr kyslíku, 8 – ukazatel dodávky kyslíku, 9 – plicní automat, 10 – trubice, 11 – maska pilota.

Rozdělení leteckých dýchačů

Dýchače slouží ke zvýšení množství kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Kyslík se pro tyto účely uchovává v plynném nebo kapalném stavu ve zvláštních nádobách – lahvích.

Nejzákladnější je rozdělení dýchačů podle jejich funkce:

1. dýchače s přerušovanou dodávkou kyslíku (s plicní automatikou);

2. dýchače s nepřetržitou dodávkou kyslíku do masky pilota;

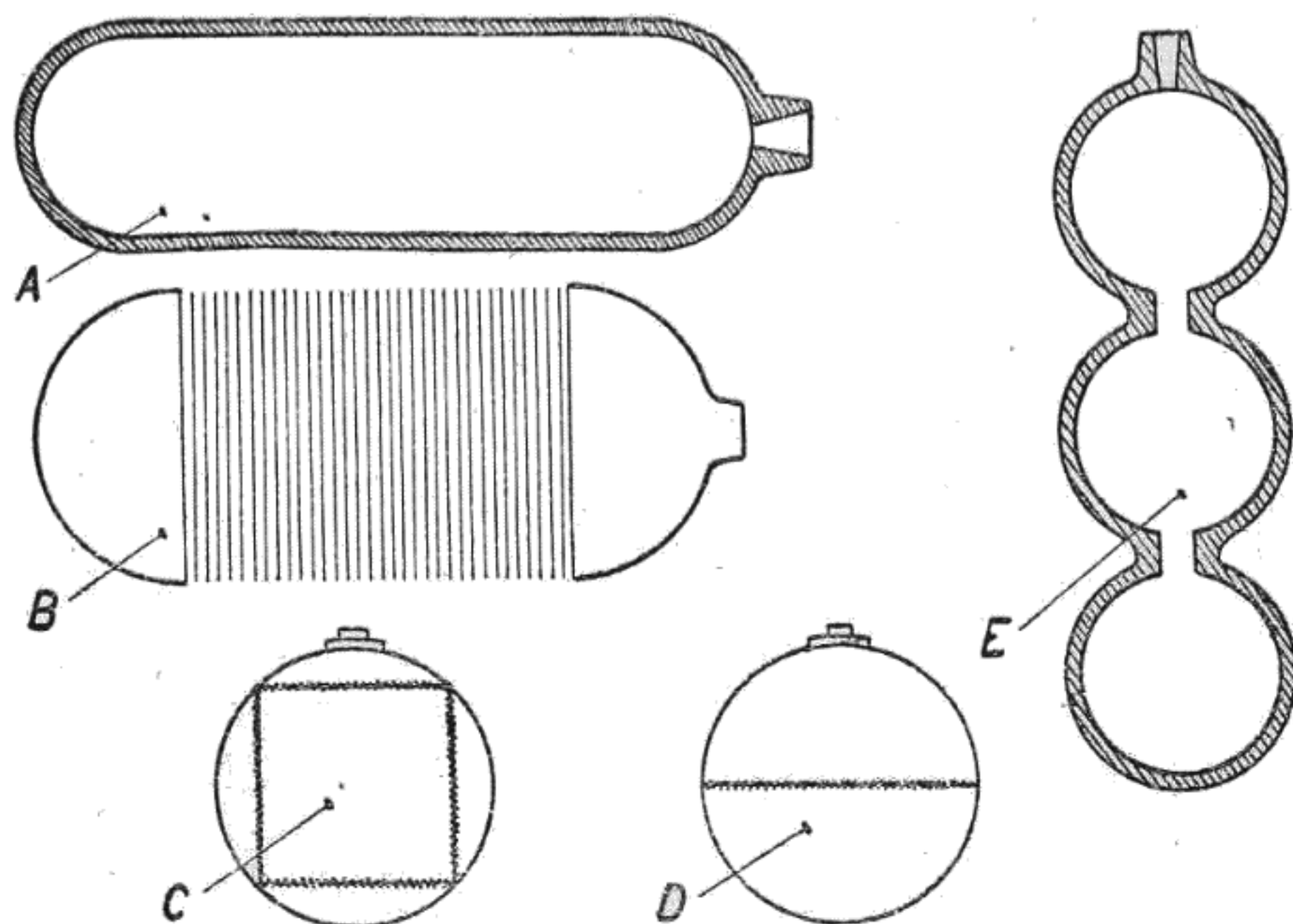
3. dýchače regenerační;

4. dýchače na kapalný kyslík.

Nás zajímá nejvíce skupina ad 1., tj. dýchače s přerušovanou dodávkou kyslíku do masky pilota (s plicní automatikou). Uvedli jsme si je na prvním místě v rozdělení proto, abychom si je ve sledu této knihy mohli probrat nejdříve.

Dýchače s plicní automatikou

U tohoto typu dýchačů se kyslík přivádí do masky pilota jen v době vdechu vlivem podtlaku v masce. Další výhodou je automatické směšování kyslíku z láhve s okolním atmosférickým vzduchem



Obr. 15.5. Typy kyslíkových lahví.

A - válcová láhev, B - válcová láhev, opředená ocelovým drátem, C - kulová láhev, svařená ze šesti kulových vrchlíků, D - kulová láhev, svařená ze dvou polokoulí, E - trojitá kulová láhev.

při letu v menší výšce, kdy organismus nepotřebuje ještě plnou dávku kyslíku. Zbylý kyslík ve vydechovaném vzduchu odchází bez užitku.

Schéma dýchače s plicní automatikou je na obrázku 15.4.

Kyslík se z láhve 1 vede přes uzavírací ventil láhve 2 potrubím 3 přes ventil 4 potrubím 5 do reduktoru 6. Z reduktoru je vyveden přívod k tlakoměru kyslíku 7, vývod k ukazateli dodávky kyslíku 8 a vývod k plicnímu automatu 9. Z plicního automatu se potom kyslík vede potrubím 10 do masky pilota 11.

Základní části dýchače s plicní automatikou jsou:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| a) kyslíkové láhve; | d) kontrolní přístroje; |
| b) potrubí a ventily; | e) dýchací systém. |
| c) reduktor; | |

a) Kyslíkové láhve

Plynný kyslík se uchovává stlačený v kyslíkových lahvích. Pro svou důležitost a poměrně vysoký provozní tlak musí být kyslíkové láhve konstruovány se značnou bezpečností. Provozní tlak v lahvích je 150 atm, zkušební tlak potom 250 atm. Láhve se vyrábějí buď z oceli nebo ze slitin hliníku. Láhve, vyrobené ze slitin hliníku jsou sice poměrně lehké, ale jsou značně náchylné na korozi, čímž je u nich větší nebezpečí výbuchu; proto se jejich používání omezuje. Převládají proto stále více kyslíkové láhve, vyrobené z oceli, a to buď z uhlíkatých nebo z legovaných ocelí.

Provozně jsou nejvýhodnější láhve válcového tvaru, zakončené dvěma polokoulemi. Vyrábějí se z bezešvých trubek, konce jsou kovány za tepla. Tvar válcové kyslíkové láhve je zřejmý z obrázku 15.5 A.

Ve Francii se používá válcových lahví se slabšími stěnami, opředených na válcové části ocelovým drátem, jak vidíme z obrázku 15.5 B.

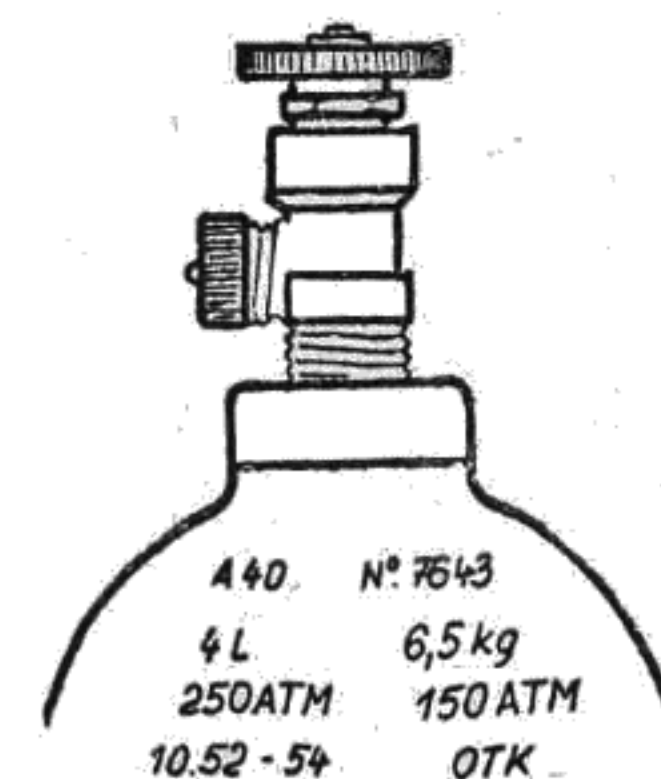
Nejideálnější, ale zároveň nejméně skladným tvarem lahví jsou láhve kulové, kterých se užívá v USA. Vyrábějí se buď svařením šesti kulových vrchlíků, jak vidíme na obrázku 15.5 C, nebo svařením dvou polokoulí, jak vidíme na obrázku 15.5 D.

V Sovětském svazu a v Německu se používá lahví se třemi navzájem spojenými koulemi, jak vidíme na obrázku 15.5 E. Tento tvar kyslíkových lahví spojuje výhody válcových a kulových lahví.

Vnitřní objem (tzv. „vodní kapacita“) lahví je asi 4 litry. Každá láhev musí být jednou za 2 roky zkoušena, životnost lahví je 6 let.

Na každé kyslíkové láhvi musí být kontrolní čísla, a to poblíž hrdla láhve, jak vidíme na obrázku 15.6. Jednotlivá čísla značí:

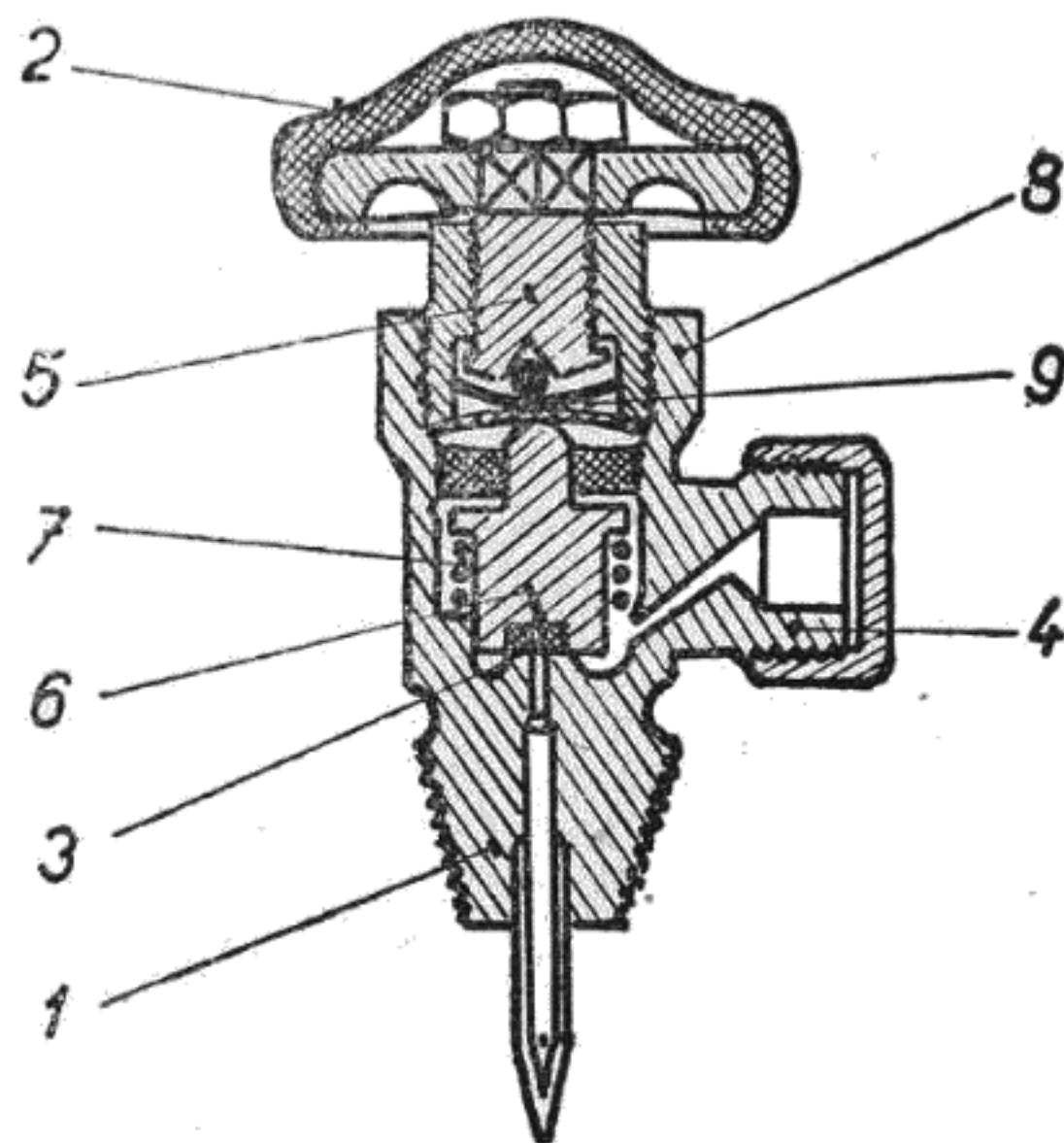
A 40	typ láhve
No. 7643	registrační číslo láhve
4 L	obsah láhve v litrech
6,5 kg	váha plné láhve
250ATM	zkušební tlak
150ATM	provozní tlak
10.52 - 54	láhev byla dána do používání v říjnu roku 1952, možno ji užívat do roku 1954
OTK	značka technické kontroly láhve



Obr. 15.6. Označení kyslíkových lahví.

b) Potrubí a ventily

Potrubí, kterým se vede kyslík, je označeno modrou barvou. Spojuje kyslíkové láhve s vlastním dýchacím přístrojem. Potrubí je převážně z mědi, která je pevná, snadno se ohýbá, nepodléhá korozi.



Obr. 15.7. Ventil kyslíkové láhve.

1 - hrdlo kyslíkové láhve, 2 - ovládací kolečko, 3 - těsnicí plocha, 4 - vývodka kyslíku, 5 - šroub, 6 - těsnicí těleso, 7 - pružina, 8 - ventil, 9 - pružiny.

lečkem 2 se totiž otáčí šroub 5 a tím uvolní těsnicí těleso 6. Těsnicí těleso 6 je potom pružinou 7 nadzvednuto, takže se uvolní těsnicí plocha 3. Při otáčení ručním kolečkem 2 ve směru pohybu hodinových ručiček, zašroubovává se šroub 5 do tělesa ventilu 8 a tím nutí těsnicí těleso 6 přes pružiny 9, aby uzavřelo těsnicí plochu 3.

Do potrubí jsou zařazeny zpětné ventily, které propouštějí kyslík jen jedním směrem. Protisměr se uzavírá kuličkou, na kterou působí pružina.

c) Reduktor

Reduktorem se upravuje tlak z kyslíkové láhve 150 atm na tlak 10 atm \pm 1 atm.

Popišme si činnost reduktoru tlaku kyslíku podle obrázku 15.8.

Jednotlivé části potrubí jsou navzájem spojeny šroubovými mosaznými spoji, které se k potrubí připájejí. Již na tomto místě je třeba upozornit na to, že kyslík nesmí v žádném místě potrubí přijít do styku s mastnotou!

Ventily uzavírají určité úseky potrubí rozvodu kyslíku.

Ventil kyslíkové láhve je našroubován na kuželový závit hrdla kyslíkové láhve 1.

Otáčením kolečka 2 proti směru otáčení hodinových ručiček otevíráme těsnicí plochu 3 a tím otevíráme cestu kyslíku do vývodky 4.

Při otáčení ručním ko-

Těleso reduktoru 1 je rozděleno gumovou membránou 2 na dvě komory. Spodní část (komora) 3 je spojena otvorem 4 s atmosférou. Pružina 5 tlačí na gumovou membránu 2 a přes trubku 6 tlačí také na desku 7. Deska 7 je odtlačována od horní stěny tělesa ventilu pružinou 8. Potrubím 9 přivádí do reduktoru kyslík o tlaku 150 atm. Tlak kyslíku je kontrolován tlakoměrem kyslíku 10.

Je-li přívod kyslíku od láhve otevřen, zvětší se tlak v komoře reduktoru 11, stlačí membránu 2 a kyslík proudí otvory 12 a kanálkem 13 do šroubení ventilu 14. Ze šroubení 14 se potom kyslík vede k plicnímu automatu.

Průtočné průřezy jednotlivých kanálů reduktoru jsou voleny tak, že šroubením 14 odtéká kyslík nižším tlakem 10 atm \pm 1 atm. Přesná redukce tlaků se dá seřídít zašroubováním nebo větším vyšroubováním sedla 15 pružiny 5.

Při otevření nouzového ventilu může kyslík proudit nepřetržitě do masky pilota. Nouzový ventil, který se otevírá otočením kolečka nouzového ventilu 16 ve směru proti směru pohybu hodinových ručiček, otevírá se v případě, že pilot při větší fyzické námaze potřebuje větší dodávku kyslíku, než jakou zaručuje plicní automatika.

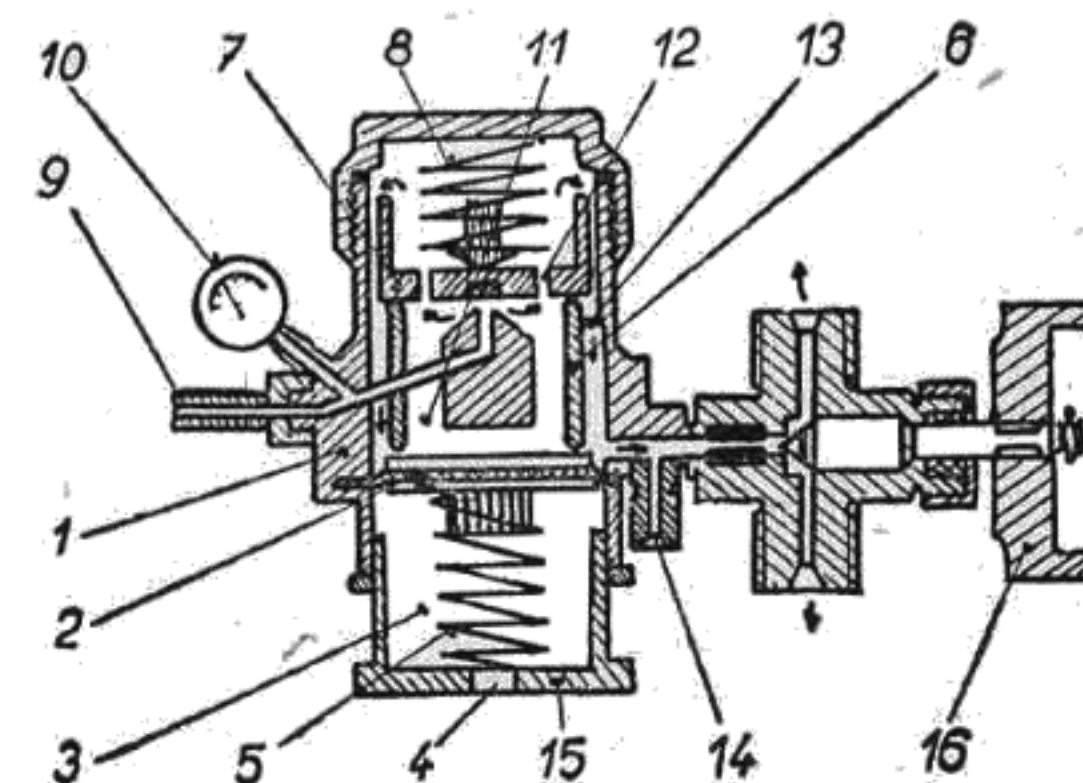
d) Kontrolní přístroje

Do obvodu přívodu kyslíku od kyslíkové láhve do reduktoru je zařazen tlakoměr kyslíku. Tento tlakoměr ukazuje tlak kyslíku v kyslíkových láhvích. Jeho základním elementem je Bourdonovo pero, které známe z kapitoly 13.

Stupnice tlakoměru kyslíku má rozsah do 250 atm. Provozní tlak v lahvích je v létě 130 atm, v zimě 150 atm.

Ukazatel dodávky kyslíku do masky pilota je nakreslen na obrázku 15.9.

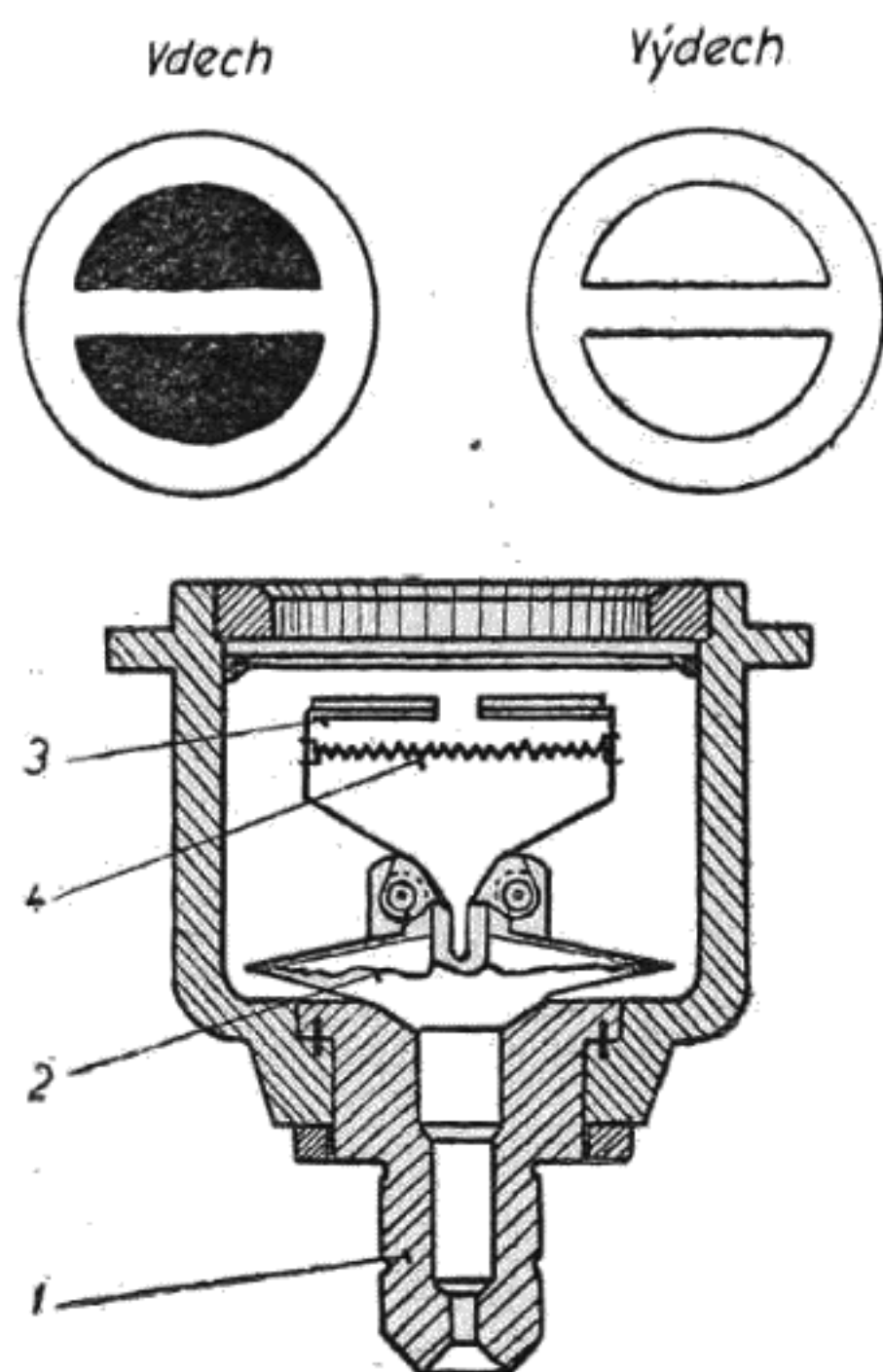
Přístroj je zapojen do kyslíkového potrubí za reduktorem. Je to vlastně tlakoměr, který reaguje na změnu tlaku v potrubí mezi re-



Obr. 15.8. Reduktor.

1 - těleso reduktoru, 2 - gumová membrána, 3 - spodní část komory, 4 - otvor, 5 - pružina, 6 - trubka, 7 - deska, 8 - pružina, 9 - potrubí, 10 - tlakoměr kyslíku, 11 - komora reduktoru, 12 - otvory, 13 - kanálek, 14 - šroubení ventilu, 15 - sedlo pružiny, 16 - kolečko nouzového ventilu.

duktorem a maskou pilota. Ke změnám tlaku v tomto potrubí dochází při vdechu a výdechu. Změní-li se tlak v potrubí 1, například při vdechnutí se tlak zmenší, deformuje se membrána 2 tak, že se žlutě natřené značky od sebe oddálí a my vidíme dvě černé plochy (obrázek nahoře vlevo v obrázku 15.9). Při výdechu se deformuje



Obr. 15.9. Ukazatel dodávky kyslíku.
1 - potrubí, 2 - membrána, 3 - značky, 4 - pružina.

otevřené nebo těsné. Otevřených masek se používá u dýchačů s plynulou dodávkou kyslíku, kdy nezáleží na tom, zda přisáváme falešný vzduch, protože maska dává nadbytek kyslíku.

Těsných masek užíváme u dýchačů s plicní automatikou, kde není nasávání falešného vzduchu žádoucí.

Maska pilota nesmí překážet pilotu ve výhledu, musí se snadno nasazovat a snímat. Hadice masky musí být lehce ohebná. Maska nesmí škrtit, musí dobře přiléhat k obličeji a musí těsnit, což vyzkoušíme tím, že při nadýchnutí nesmí i neupevněná maska spadnout s obličeje.

Účelem masky je nasávání směsi kyslíku a okolního vzduchu nebo

membrána opačně a v okénku přístroje vidíme dvě světlé plochy, jak je zřejmé z obrázku 15.9 vpravo nahoře. Značky jsou v obrázku označeny 3, v základní poloze je drží pružina 4.

e) Dýchací systém

Dýchací systém dýchače zprostředkovává styk mezi dýchacími cestami člověka, reduktorem a atmosférickým vzduchem. Reguluje proud do masky pilota tak, aby odpor dýchání byl co nejmenší, izoluje dýchací cesty člověka od okolního prostředí, hromadí nezbytné množství vdechovaného vzduchu s potřebným obsahem kyslíku a kysličníku uhlíčitého při minimální spotřebě kyslíku.

Dýchací systém dýchače skládá se z masky a plicní automatiky.

Masky pilota mohou být buď

čistého kyslíku přes plicní automat. V masce je ventil, který se otevírá při vdechnutí a uzavírá při vydechnutí, který nazýváme sacím ventilem a dále ventil výdechový, který se otevírá při výdechu a zavírá při vdechnutí.

Řez maskou je uveden na obrázku 15.10. Směs vzduchu a kyslíku nebo čistý kyslík jsou přiváděny hadicí 1 k sacímu ventilu 2 do masky. Při výdechu se sací ventil přetlakem v masce uzavře a otevře se výdechový ventil 3, kterým proudí výdechový vzduch z masky do prostoru kabiny letadla. Při vdechu je výdechový ventil vlivem podtlaku v masce uzavřen.

Plicní automat (plicní automatika) slouží nám jako směšovač kyslíku a vzduchu před dodáním do masky pilota.

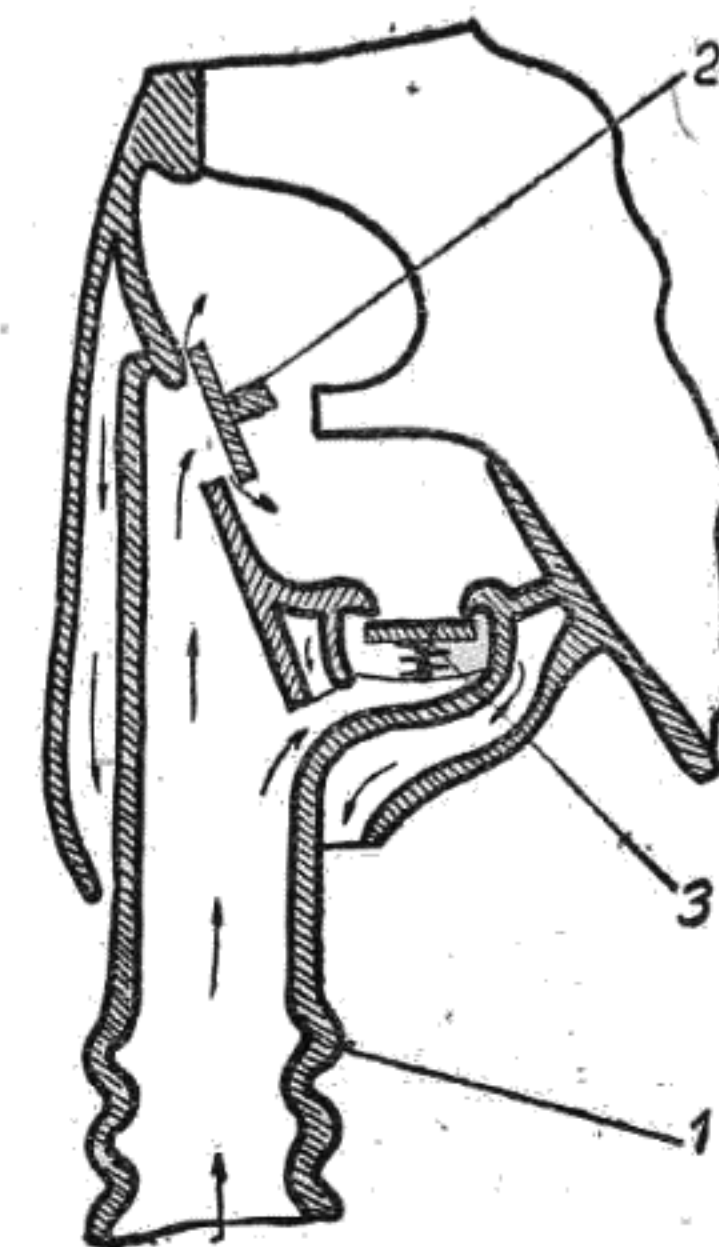
Na obrázku 15.11 je nakreslen řez plicním automatem.

Přívodem 1 se přivádí kyslík o tlaku 10 atm od reduktoru. Při vdechu proudí kyslík přes ventil přívodu 2 kanálkem 3 do injektoru 4. V injektoru se přisává ke kyslíku atmosférický vzduch. Směs kyslíku a vzduchu vtéká potom do pouzdra plicního automatu 5, kde se řádně promísí. V této části plicního automatu je regulátor, který reguluje správné množství vzduchu v kyslíku. Ve výšce asi 8 km regulátor úplně uzavře přívod vzduchu, takže vdechujeme čistý kyslík. Z pouzdra plicního automatu se vede směs potrubím (které není v obrázku 15.11 zakresleno) do masky pilota. Ventilem 6 uzavíráme přívod přídavného vzduchu, chceme-li vdechovat čistý kyslík. Knoflík 7, tzv. „kyslíková sprcha“ nám slouží pro chvilkové spuštění větší dávky kyslíku do masky, je-li toho zapotřebí (například začneme-li pociťovat nevolnost z nedostatku kyslíku).

Na pouzdro plicního automatu je vývodem připojen ukazatel dodávky kyslíku, který není již na obrázku 15.11 zakreslen.

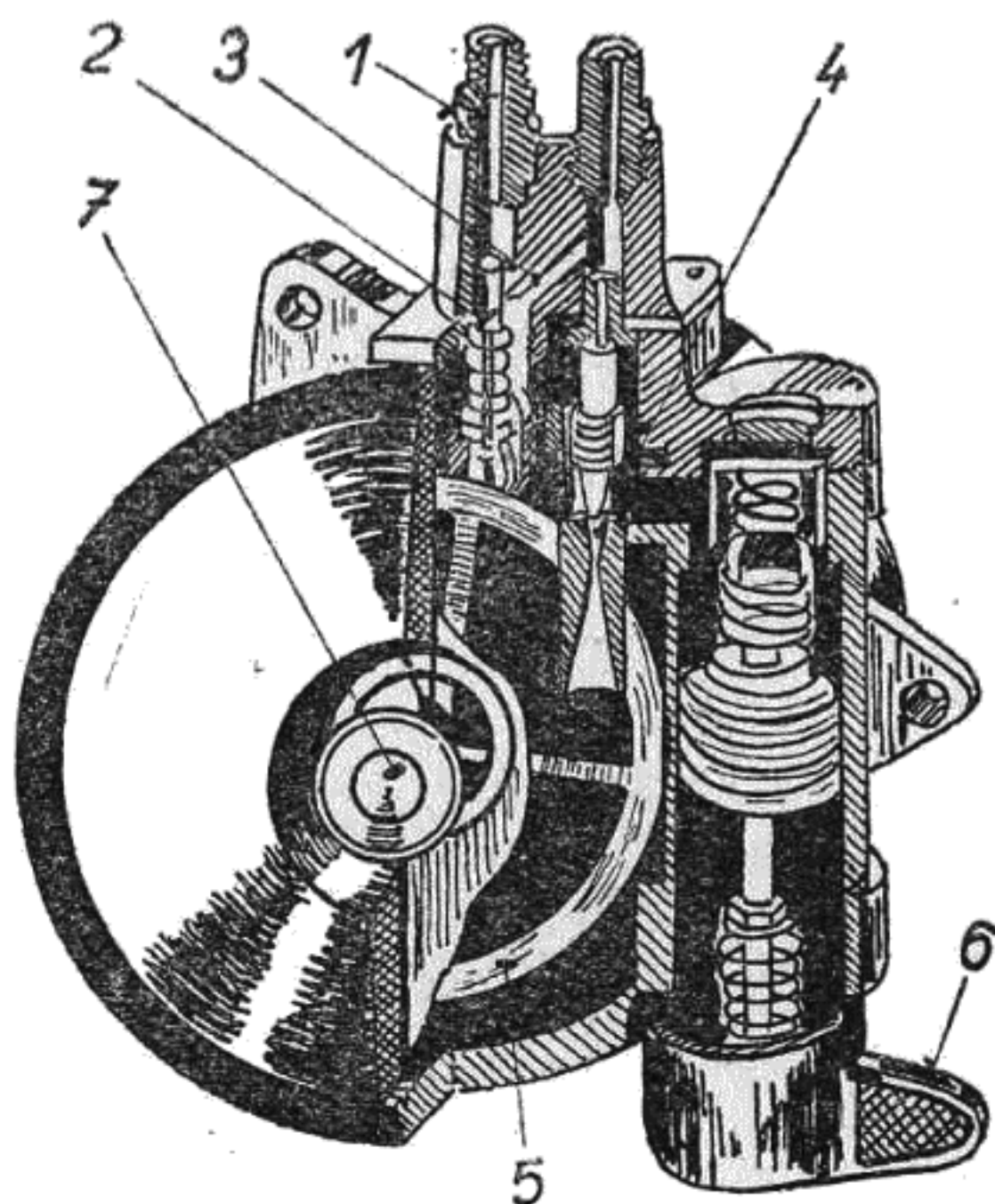
Na obrázku 15.12 si zopakujeme propojení jednotlivých částí dýchače s plicní automatikou.

Kyslík se vede z kyslíkové láhve 1 potrubím 2 přes plicní ventil 3 a uzavírací ventil 4 do reduktoru 5. Reduktor je opatřen nouzovým



Obr. 15.10. Maska pilota.
1 - hadice, 2 - sací (vdechový) ventil,
3 - výdechový ventil.

ventilem 6. Z reduktoru je vyvedena trubička 7 ke kontrolnímu tlakoměru 8, který ukazuje po otevření uzavíracího ventilu 4 tlak kyslíku v kyslíkové láhvi. Z reduktoru 5 je vyvedena trubička 9 k ukazateli dodávky kyslíku 10. Reduktor je potrubím 11 spojen s plicním automatem 12. Z plicního automatu 12 se potom potrubím 13 a ohebnou hadicí 14 vede směs kyslíku a vzduchu nebo čistý kyslík do masky 15. 16 je tlačítko kyslíkové sprchy na plicním automatu, 17 je uzavírací ventil přidavného vzduchu.



Obr. 15.11. Plicní automat.

1 - přívod kyslíku od reduktoru, 2 - ventil přívodu, 3 - kanálek, 4 - injektor, 5 - pouzdro plicního automatu, 6 - uzavírací ventil přidavného vzduchu, 7 - kyslíková sprcha.

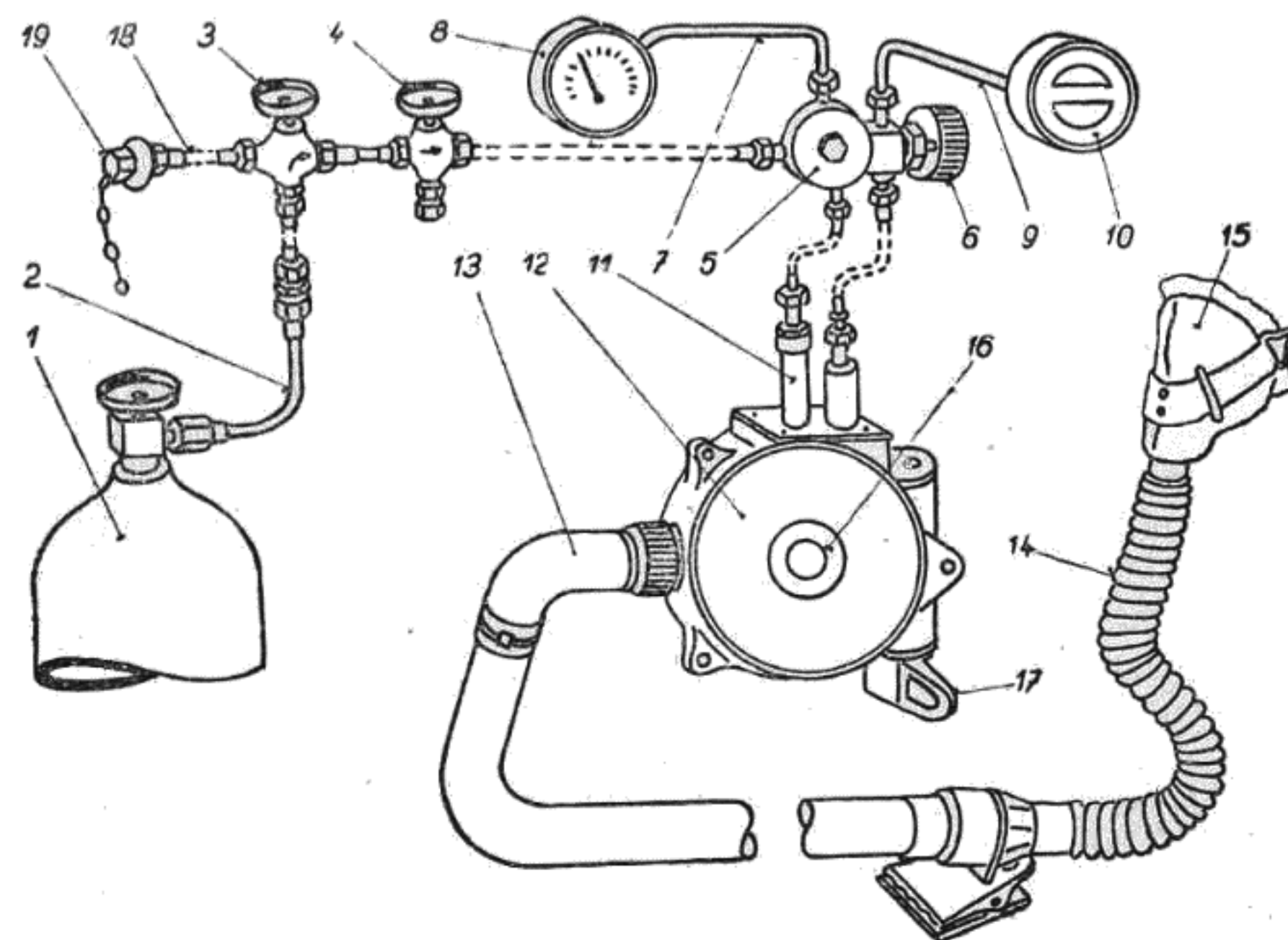
- c) množství dodávaného kyslíku je možno měnit podle fyzické námahy pilota,
- d) množství kyslíku ve vdechované směsi se automaticky zvětšuje s výškou až na plnou přípust' čistého kyslíku.

Činnost dýchače s plicní automatikou

Při vdechu vznikne v masce podtlak, stejně jako ve směšovací komoře, proti tlaku okolního atmosférického vzduchu, takže membrána reduktoru se stlačí a kyslík proudí do plicního automatu, přes něj potom dále do masky pilota. Ve výšce asi 8 km se automaticky uzavře přívod přisávaného vzduchu a pilot vdechuje čistý kyslík. V případě

nevolnosti je možné zvýšit tlak kyslíku do masky stisknutím tlačítka kyslíkové sprchy na pouzdru plicní automatiky.

Pro větrně se někdy užívá přenosného dýchačního přístroje, který je upraveným dýchačem s plicní automatikou. Činnost přenosného



Obr. 15.12. Dýchač s plicní automatikou.

1 - kyslíková láhev, 2 - potrubí, 3 - plnicí ventil, 4 - uzavírací ventil, 5 - reduktor, 6 - nouzový ventil, 7 - trubička k tlakoměru kyslíku, 8 - kontrolní tlakoměr kyslíku, 9 - trubička k ukazateli dodávky kyslíku, 10 - ukazatel dodávky kyslíku, 11 - potrubí od reduktoru k plicnímu automatu, 12 - plicní automat, 13 - potrubí do masky pilota, 14 - ohebná hadice, 15 - maska pilota, 16 - kyslíková sprcha, 17 - uzavírací ventil přidavného vzduchu, 18 - potrubí pro plnění kyslíkové láhve, 19 - závěr.

dýchače i jeho obsluha jsou naprosto shodné s popsáním typem dýchače s plicní automatikou.

Obsluha a používání dýchače

Pro plnění kyslíkových lahví dýchačů se musí používat výhradně leteckého kyslíku. Letecký kyslík má ve srovnání s lékařským kyslíkem daleko menší obsah vody a neobsahuje kysličník uhličitý. Letecký kyslík je bez barvy, chuti a zápachu. Protože způsobuje korozi, musí být všechny součásti plnicího zařízení a dýchače z nerezavějící oceli, mosazi nebo umělých hmot.

Při plnění kyslíkových lahví a při veškeré práci s kyslíkem musíme mít stále na paměti, že *kyslík ve styku s tuky a lehce spalitelnými látkami* (jako je buničina, vata, hadry apod.) *exploduje!!* Proto veškeré součásti dýchače, které přicházejí do styku s kyslíkem, musí být dokonale odmaštěné a nesmí na nich zůstat ani sebemenší zbytky hořlavých látek. Veškeré spoje mažeme, pokud je to nutné, glycerinem.

Při jakékoliv montáži na dýchači je nutno použít čistého odmaštěného nářadí, čistého pracovního stolu i oděvu a před prací si vždy umýt ruce, zbavit je zbytků potu.

Při přejímání dýchače:

- provádíme povrchovou kontrolu dýchače,
- kontrolujeme tlak kyslíku v láhvi,
- několikrát vdechneme kyslík z masky a kontrolujeme, zda nezapáchá,
- zjišťujeme, neklade-li dýchač veliký odpor při vdechu a kontrolujeme, zda funguje kontrola dodávky kyslíku do masky,
- uzavřeme-li ventil kyslíkové láhve, nesmí klesnout údaj tlakoměru kyslíku, protože jen tak potrubí dokonale těsní,
- vypustíme kyslík z potrubí zmáčknutím kyslíkové sprchy,
- vyzkoušíme upevnění masky volným přiložením na obličej a sáním zkoušíme těsnost (maska nesmí spadnout),
- kontrolujeme, máme-li otevřen ventil přídavného vzduchu.

Za letu kontrolujeme:

- zda dokonale přiléhá maska a nenasáváme-li falešný vzduch,
- zda ukazuje tlakoměr tlaku kyslíku a ukazatel dodávky kyslíku do masky,
- zda se nám nedýchá těžce,
- zda tlak v kyslíkové láhvi není menší než 30 atm, jinak přerušíme let.

Udělá-li se nám za letu nevolno, zmáčkne sprchu a tím pustíme do masky plný tlak kyslíku. Vyčkáme reakce. Uklidníme-li se, pokračujeme v letu, při zvyšující se nevolnosti okamžitě klesáme pod výšku 4000 metrů a přerušíme dodávku kyslíku do masky.

Při jakémkoliv porušení dýchače okamžitě a co nejrychleji opouštíme stávající výšku (střemhlavým letem nebo vývrtkou).

První známkou nedostatku kyslíku v organismu, kterou na sobě můžeme při letu bez použití dýchače pozorovat, je modráni nehtů a modráni rtů.

Období snížení sebekritiky pilot nepozoruje, cítí se velmi dobře a ke všem opatřením a kontrole svého stavu je lhostejný. Začíná být

malátný a těžko se mu přemýšlí. V konečném stadiu bez jakékoliv nevolnosti upadá do bezvědomí.

Létání ve větších výškách není nebezpečné, je třeba se však řídit zásadami, které jsme si uvedli. V případě nevolnosti zbytečně nerisikovat, v případě nedostatku kyslíku okamžitě zakončit let.

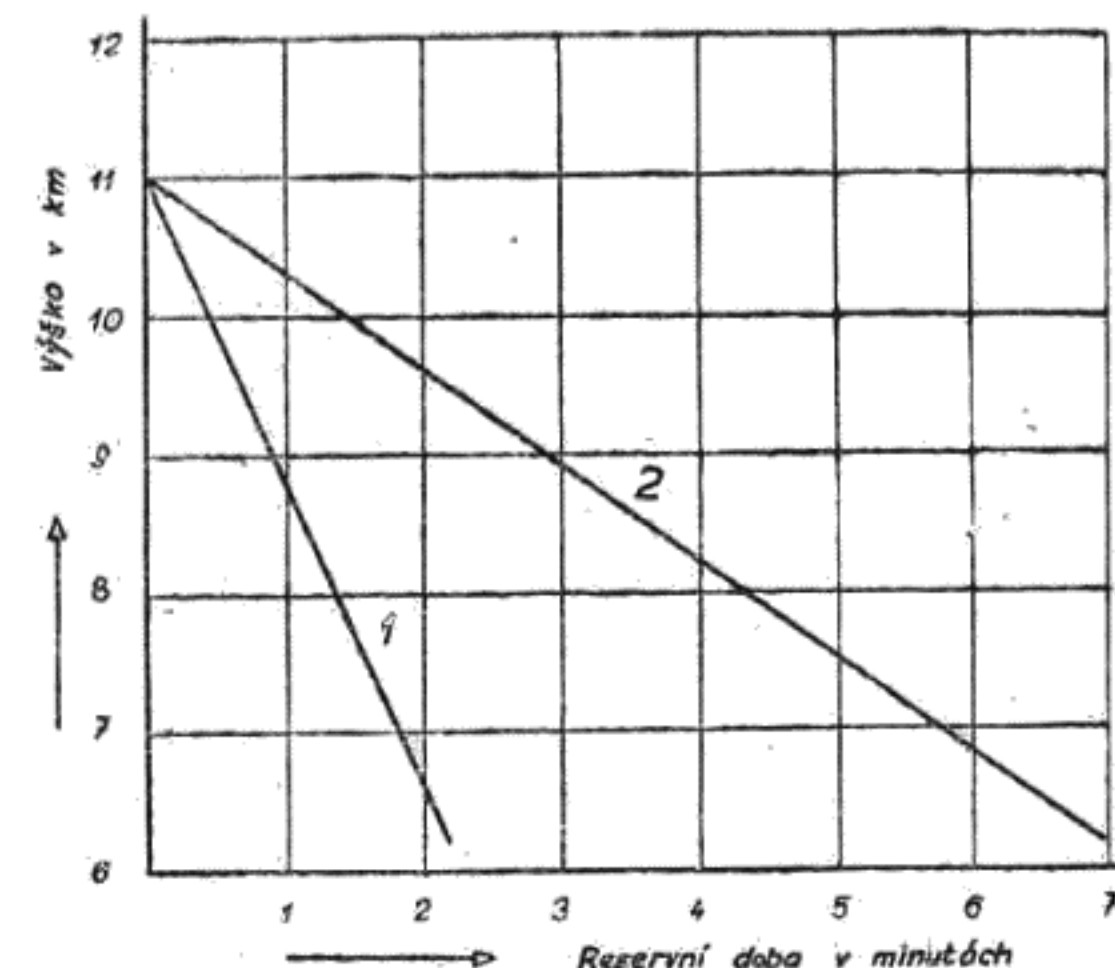
V závěru tohoto odstavce se ještě zmíníme o rezervě kyslíku a rezervní době.

Rezerva kyslíku v lidském organismu je asi 0,8 litru. Toto množství postačí asi na 3 minuty v případě, že zadržíme dech.

Rezervní dobou rozumíme dobu, při níž nedostatek kyslíku přivede člověka do stejného stavu, v jakém by byl, kdyby do stejné výšky, v jaké je, vystoupil bez dodávky kyslíku.

Pro určitou výšku existuje po poruše dodávky kyslíku určitá minimální rychlost klesání do menší výšky. Tuto minimální požadovanou rychlost klesání z určité výšky můžeme zjistit z diagramu v obrázku 15.13, kde je vynesena závislost výšky letu a rezervní doby.

Vlevo od přímky 1 je oblast bezpečné rychlosti klesání. Mezi přímkou 1 a 2 je oblast kritického stavu. Vpravo od přímky 2 je oblast života nebezpečná.



Obr. 15.13. Průběh rezervní doby s výškou.

Dýchače s nepřetržitou dodávkou kyslíku do masky

Dýchače s nepřetržitou dodávkou kyslíku do masky jsou sice velmi jednoduché, ale provozně značně neekonomické. Kyslík proudí do masky nepřetržitým tokem podle stupně otevření přívodního ventilu, takže v době výdechu uniká kyslík bez užítu.

Tohoto typu dýchačů se užívá již jen v ojedinělých případech v dopravních letounech pro cestující, protože tento dýchač nevyžaduje kromě otevření přívodního ventilu naprosto žádné obsluhy. V dnešní době, kdy se stále více užívá dopravních letadel s přetlakovými kabinami, používá se tohoto typu dýchačů stále méně a méně.

Regenerační dýchače

U tohoto typu dýchačů se využívá veškerého kyslíku, tekoucího z láhve. Vydechovaný vzduch se v regenerátoru regeneruje a pak mísí s kyslíkem, přicházejícím z láhve.

Tohoto typu, ačkoliv je provozně ekonomický, se pro jeho značnou váhu používá jen velmi zřídka.

Tento dýchač se vyznačuje plynulou dodávkou kyslíku, protože kapalný kyslík se neustále odpařuje a plyný kyslík se musí stále odebírat, jinak je nebezpečí výbuchu.

Tohoto typu dýchačů se používá u větších letadel s větším akčním rádiem, protože kapalný kyslík se velice výhodně skladuje. Jeden kilogram kapalného kyslíku odpaří totiž 724 litrů plyného kyslíku.

V závěru této kapitoly si probereme ještě jeden speciální typ dýchače.

Padákový dýchač

U moderních letadel, která létají ve velkých výškách, v nichž musí v případě poruchy letadla posádka opustit letadlo padákem, užívá se dýchačů, které jsou vmontovány jako součást sedačky, případně padákového vaku. Při opuštění letadla přepojí se přívod kyslíku automaticky od kyslíkových lahví letounu na kyslíkové láhve padákového dýchače.

Nejdůležitější poučky z kapitoly

Při letech ve větší výšce než 4000 metrů nad mořem musíme užít dýchače. U větronů se používá převážně dýchače s plicní automatikou. Základní části tohoto typu dýchače jsou: kyslíková láhev, potrubí a ventily, reduktor tlaku kyslíku ze 150 atm na 10 atm, kontrolní přístroje a dýhací systém. Výhodou těchto typů dýchačů je, že dodávají kyslík do masky pilota jen při vdechu, kyslík se automaticky mísí se vzduchem, množství dodávaného kyslíku je možno měnit.

Při obsluze dýchačů musíme dbát především toho, aby kyslík nepřišel nikde do styku s mastnotou nebo s hořlavými látkami.

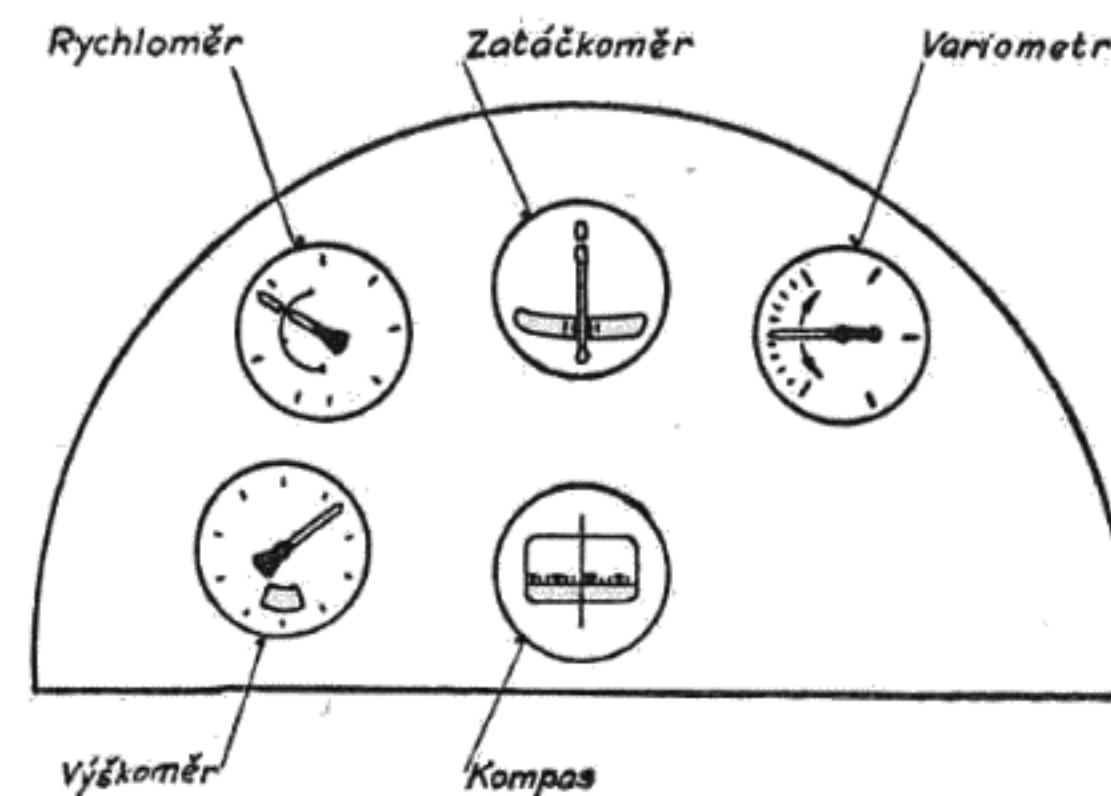
Kontrolní otázky

1. Od jaké výšky musíme používat dýchačů?
2. Jaká opatření činíme pro výškový let?
3. Co je to výšková nemoc?
4. Jakého typu dýchačů používáme ve větroních?
5. Popište činnost dýchače s plicní automatikou!
6. Co budete kontrolovat u dýchače před letem?
7. Co kontrolujeme u dýchače za letu?
8. Jak na sobě poznáte nedostatek kyslíku?
9. Jak zvýšíte tlak kyslíku v masce při nevolnosti?
10. Nač musíme být opatrní při plnění kyslíkových lahví?
11. Čím mažeme potrubí systému dýchače?
12. Co způsobuje kyslík při styku s mastnotou nebo s lehce spalitelnými látkami?

Důležitým činitelem pro snadnou kontrolu a přehled údajů přístrojů je rozmístění jednotlivých přístrojů nebo skupin přístrojů na palubní desce letadla.

Probereme si nyní přehledně hlavní zásady, kterým má rozmístění přístrojů ve větroni vyhovovat.

Rozmístění přístrojů na palubní desce motorového letadla všimneme si jen všeobecně v závěru této kapitoly, protože i plachtař se musí vyznat v přístrojovém vybavení motorového letadla.



Obr. 16.1. Základní rozmístění přístrojů na palubní desce větroně.

Přístrojová palubní deska větroně je značně jednodušší než palubní deska motorových letadel, protože jde téměř výhradně o jeden typ přístrojů, tj. o přístroje pro kontrolu letu.

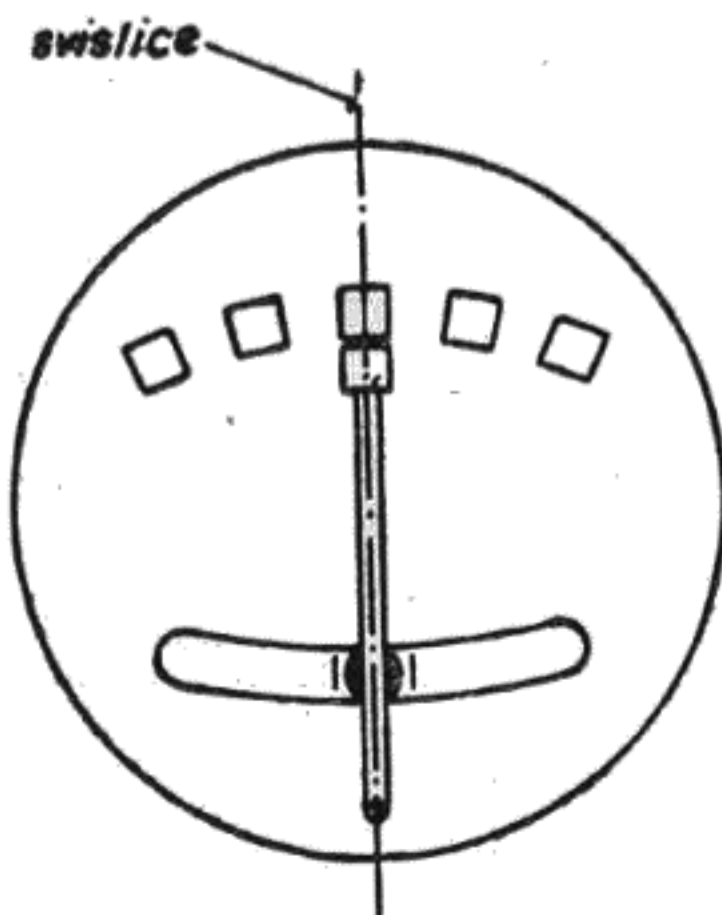
Základními přístroji ve větroni jsou: variometr, rychloměr, výškoměr, kompas, zatáčkoměr. Jejich správné rozmístění je zřejmé z obrázku 16.1.

Všimněme si, že rychloměr a variometr jsou umístěny u horního okraje desky. Jsou to totiž přístroje, jejichž údaj se za letu nejčastěji kontroluje, proto také pohyb očí pilota z pohledu do krajiny na číselník přístroje a naopak musí být co nejkratší.

Stalo se zvyklostí umísťovat výškoměr vlevo dole, což v praxi vyhovuje.

Další dva přístroje, tj. kompas a zatáčkoměr jsou umístěny ve střední linii palubní desky. Jejich vzájemná poloha je buď taková, jako na obrázku 16.1 nebo opačná, tj. kompas je nahoře a zatáčkoměr dole. Výhodnější zdá se však umístění podle obrázku 16.1.

(zatačkoměr nahoře a kompas dole), protože sledování zatačkoměru (nebo ještě více kuličky příčného relativního sklonoměru) je častější než sledování kompasu, a potom tedy jeho poloha blíže k okraji palubní desky je výhodnější ze stejného důvodu jako u variometru a rychloměru.



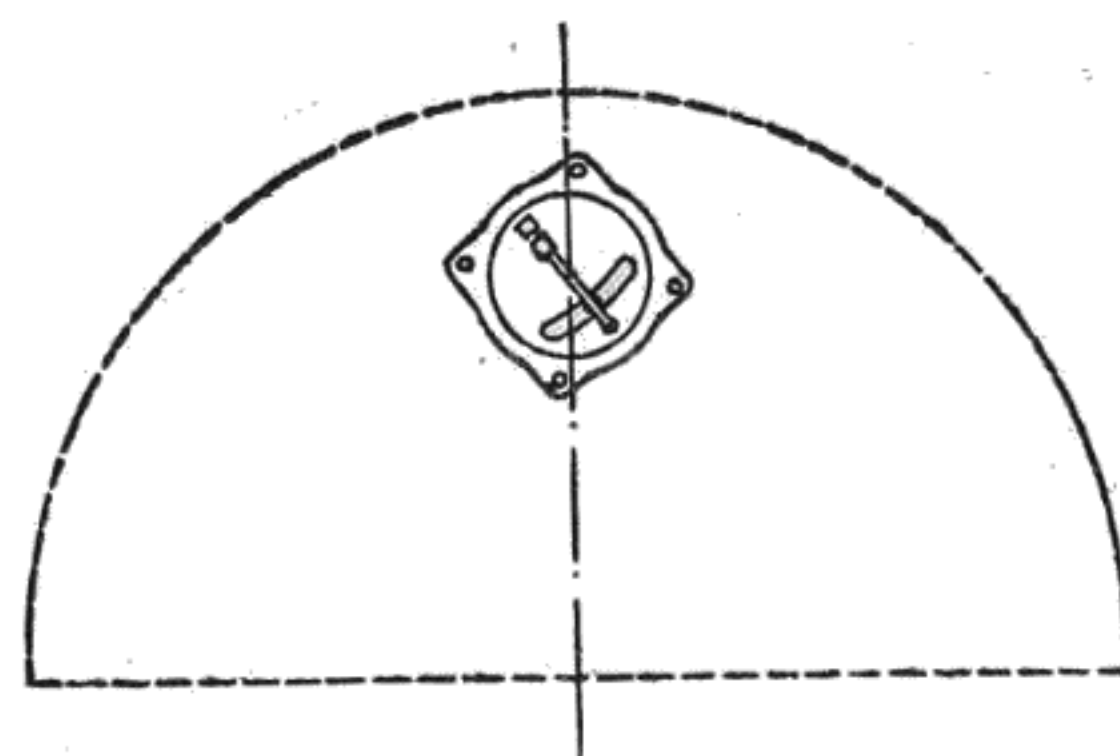
Obr. 16.2. Základní poloha zatačkoměru musí ležet ve směru kolmé osy letadla.

U umístění zatačkoměru do středu palubní desky není bezpodmínečně nutné, protože jeho malé vyosení nemá vliv na údaj přístroje. Je pouze důležité, aby základní poloha rámečku setrvačníku ležela na svislici, jak vidíme z obrázku 16.2. O tom se přesvědčíme nejlépe tak, že postavíme letoun do vodorovné polohy (obě křídla jsou svými konci vzdálena stejně od vodorovné plochy letiště) a kontrolujeme, zda kulička příčného relativního sklonoměru je mezi středními ryskami.

U umístění zatačkoměru na palubní desce podle obrázku 16.3 je tedy nesprávné!!

Bohužel není dosud zavedena norma pro rozmístění palubních přístrojů, přesto však si krátce řekneme o některých užívaných a osvědčených způsobech jejich rozmístění na palubní desce.

Základem je tzv. malá deska RAF. Tvoří ji, jak vidíme na obrázku 16.4 rychloměr, zatačkoměr a variometr.



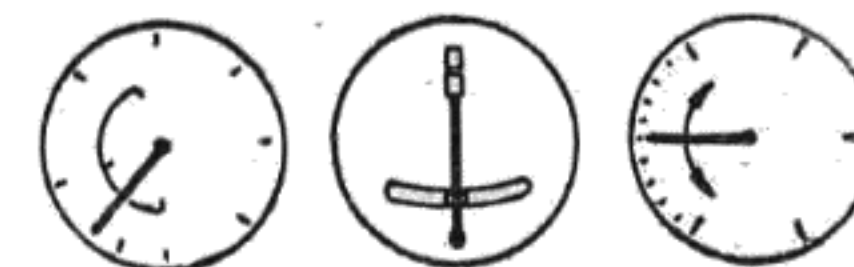
Obr. 16.3. Nesprávné umístění zatačkoměru na palubní desce.

Skupina těchto přístrojů postačí pro řízení letadla za podmínek viditelnosti Země. V originálním provedení, tj. při užití rychloměru určeného pro určité letadlo, umožňuje toto uspořádání názorně sledovat režim přímého letu, jak vidíme na obrázku 16.5.

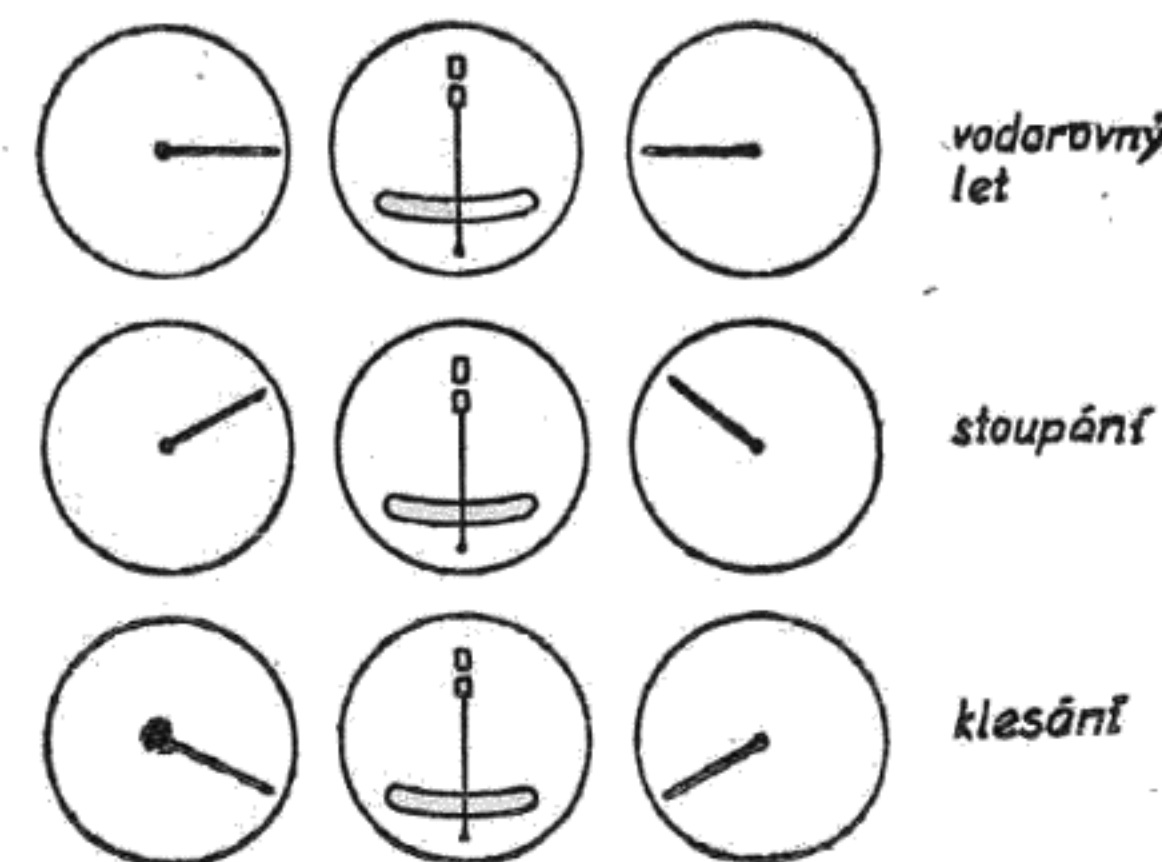
Při vodorovném přímém letu cestovní rychlosti jsou ručičky rychloměru a variometru vodorovně. Při stoupání se vychýlí ručičky rychloměru a variometru směrem nahoru, při klesání směrem dolů.

Tzv. velká deska RAF je již doplněna přístroji pro let bez viditelnosti země, jak je vidět z obrázku této desky 16.6.

V horní řadě jsou: rychloměr 1, umělý horizont 2 a variometr 3. Ve spodní řadě



Obr. 16.4. Malá přístrojová deska.

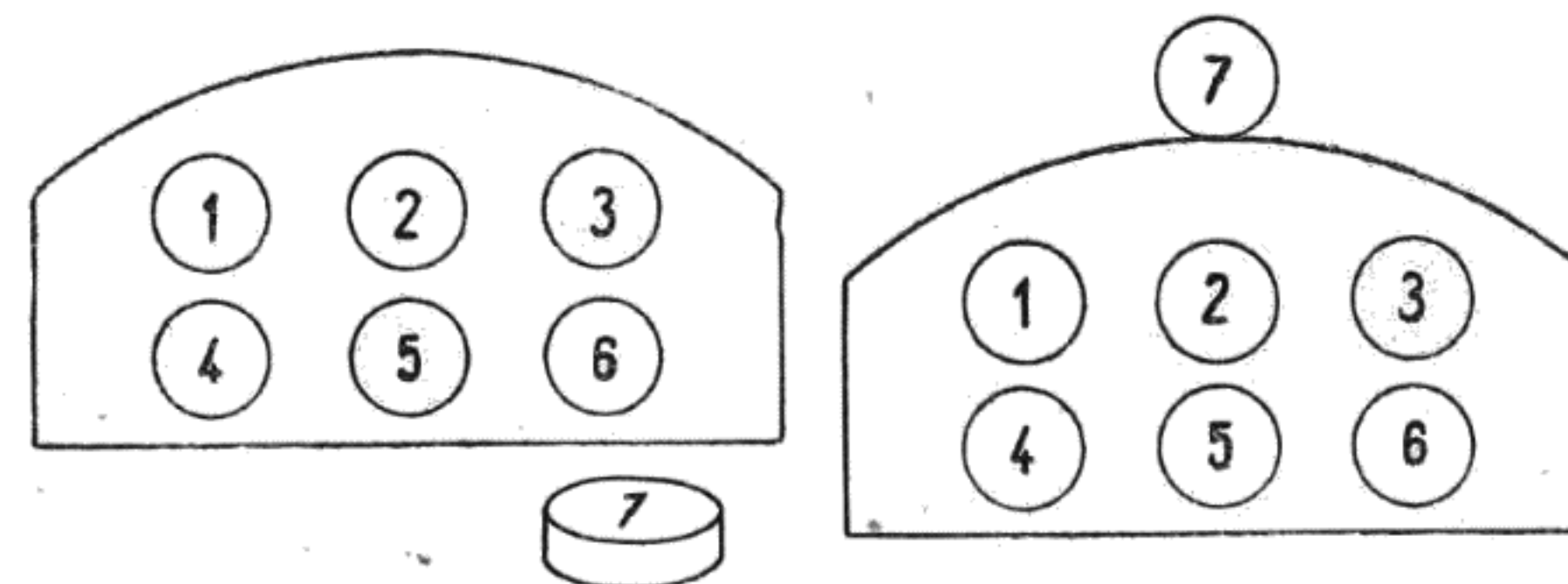


Obr. 16.5. Originální provedení malé přístrojové desky pro určitý typ letadla.

jsou: výškoměr 4, směrový setrvačník 5 a zatačkoměr 6. Pod palubní deskou vpravo je kompas 7.

Některá provedení této desky mají magnetický kompas 7 umístěn uprostřed nad palubní deskou, jak vidíme z obrázku 16.7. Ostatní přístroje jsou na stejných místech jako u desky podle obrázku 16.6.

V novějším provedení, kdy se užívá umělého horizontu v kombinaci se zatačkoměrem, je na místo zatačkoměru (tj. vpravo dolů) umístěn ukazatel radiopolokompasu.



Obr. 16.6. Velká přístrojová deska.

1 - rychloměr, 2 - umělý horizont, 3 - variometr, 4 - výškoměr, 5 - směrový setrvačník, 6 - zatačkoměr, 7 - magnetický kompas.

Obr. 16.7. Jiné provedení velké přístrojové desky.

1 - rychloměr, 2 - umělý horizont, 3 - variometr, 4 - výškoměr, 5 - směrový setrvačník, 6 - zatačkoměr, 7 - magnetický kompas.

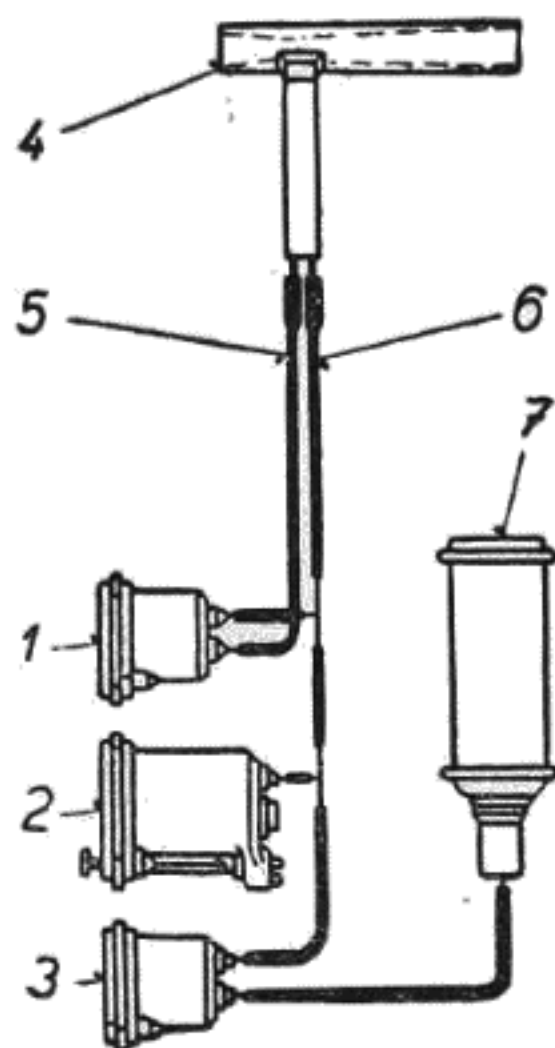
Je zřejmé, že se takových palubních desek užívá u větších letadel, hlavně potom u letadel dopravních.

Základní rozmístění přístrojů jsme si uvedli jen pro prohloubení znalostí.

Správné propojení přístrojů

Důležité je správné propojení vývodů tlakoměrných přístrojů se snímacími trubicemi.

Propojení přístrojů při užití Venturiho trubice je zřejmé z obrázku 16.8.



Obr. 16.8. Propojení přístrojů při užití Venturiho trubice.

1 – rychloměr, 2 – výškoměr, 3 – variometr, 4 – Venturiho trubice, 5 – přívod vyvozeného podtlaku, 6 – přívod statického tlaku, 7 – termoláhev.

Rychloměr 1 je připojen na přívod vyvozeného podtlaku 5 a přívod statického tlaku 6.

Výškoměr 2 je připojen na přívod statického tlaku 6.

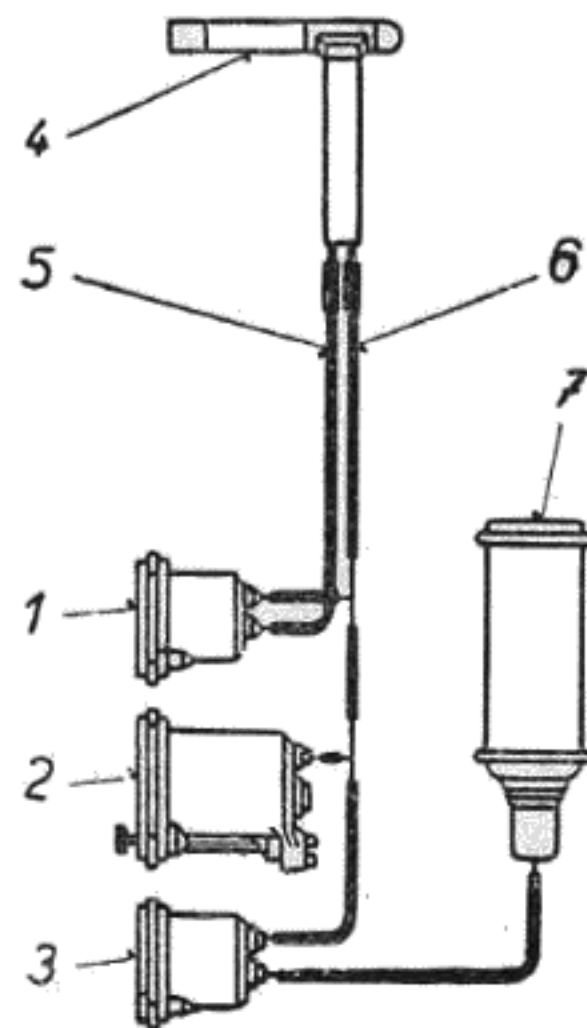
Variometr 3 je připojen na přívod statického tlaku 6 a přívod od termoláhve 7.

Vyvozený podtlak a statický tlak snímá Venturiho trubice 4.

Propojení přístrojů při užití Pitotovy trubice je zřejmé z obrázku 16.9.

Rychloměr 1 je připojen na přívod celkového tlaku 5 a na přívod statického tlaku 6.

Výškoměr 2 je připojen pouze na přívod statického tlaku 6. Va-



Obr. 16.9. Propojení přístrojů při užití Pitotovy trubice.

1 – rychloměr, 2 – výškoměr, 3 – variometr, 4 – Pitotova trubice, 5 – přívod celkového tlaku, 6 – přívod statického tlaku, 7 – termoláhev.

riometr 3 je připojen na přívod statického tlaku 6 a přívod od termoláhve 7.

Celkový tlak a statický tlak snímá Pitotova trubice 4.

Nutno vždy dbát toho, aby propojovací hadičky byly řádně navlečeny na koncovkách přístrojů a aby se nikde ostře neohýbaly nebo nedřely.

Za provozu musíme kontrolovat, zda nejsou hadičky někde zlomené, předřené nebo zpuchřelé.

Pro správnou funkci přístrojů dbáme toho, aby hadičky byly co nejkratší a hlavně aby všechny přívody, spoje i volné konce hadiček byly řádně utěsněné.

Aby se do přívodů tlaku nezanášel prach, musíme snímací trubice nebo případně i statické otvory na boku trupu chránit před vnikáním prachu, a to hlavně při transportu větroně po silnici.

Osvětlení přístrojů

Pro let za špatného vnějšího osvětlení (například v noci) se na palubní desce umísťuje několik osvětlovacích žárovek, které osvětlují číselníky přístrojů tak, aby přitom neoslňovaly pilota. Některé přístroje (například kompas) mají osvětlovací žárovku umístěnou přímo uvnitř pouzdra přístroje.

Číselníky a ručičky všech přístrojů jsou kromě toho natřeny světélkující barvou, takže je možno i bez zamontování osvětlovacích žárovek sledovat údaje přístrojů při špatném vnějším osvětlení. Sledování světélkujících číselníků však poměrně brzo unaví, proto je nutné pro delší lety v noci apod. zamontovat na palubní desku osvětlovací žárovky, jak jsme si již řekli.

Odpružení palubní desky

Letecké palubní přístroje jsou velmi jemná zařízení, která se nesmí vystavovat větším nárazům a vibracím. I když se vesměs konstruují tak, aby snášely vibrace například od motoru apod., musí být palubní deska pečlivě odpružena.

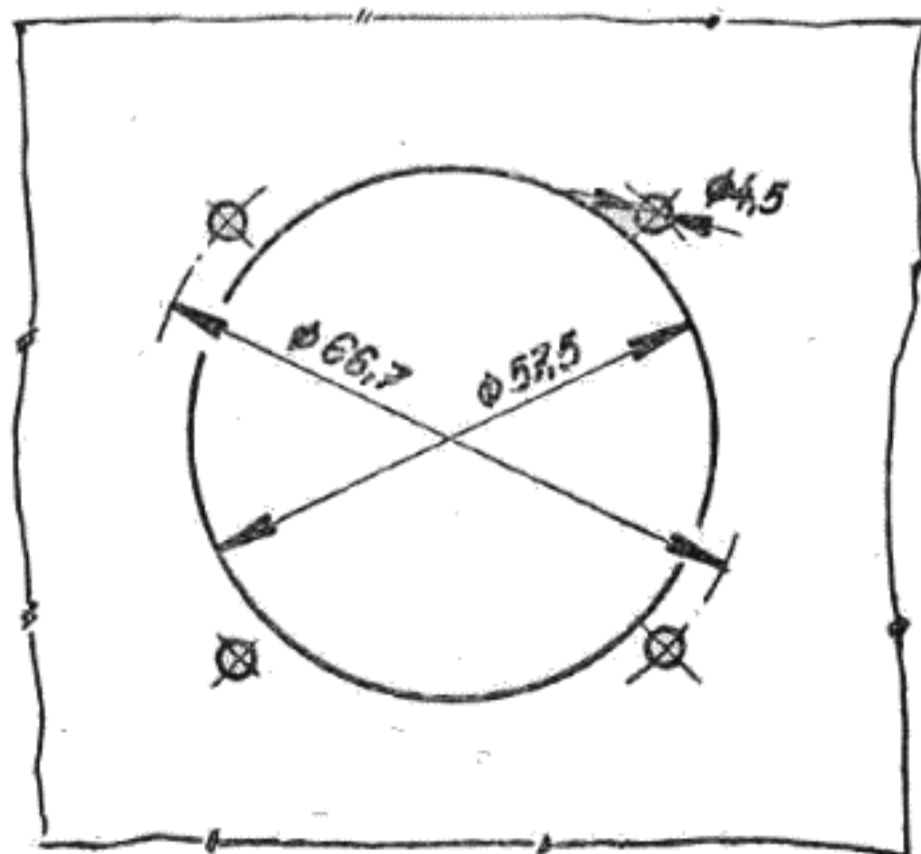
U větronů sice nepřichází v úvahu vibrace od motoru, ovšem nárazy při poježdění po zemi, nárazy při přistání apod. by mohly mechanismy přístrojů vážně ohrozit.

Proto je u všech větronů palubní deska ke konstrukci trupu přichycena přes gumové špalíky, které zabrání přenášení otřesů z konstrukce trupu na palubní desku a na přístroje.

Palubní deska nebo její části je odpružena, ovšem samotné přístroje jsou k palubní desce přichyceny pevně (bez tlumicích podložek).

Na tomto místě bych chtěl upozornit na to, že přístroje jsou citlivé na jakékoliv nárazy, tedy i na kopání nohou nebo hrubé poklepávání

například na výškoměr, což pohříchu plachtaři ve snaze upravit si údaj přístroje dělají. Tím ovšem mohou způsobit, že ručička začne skutečně zadržávat a přístroj se stane nespolehlivým, případně nepoužitelným.



Obr. 16.10. Montážní rozměry přístrojů „malé normy“.

Uvedme si ještě některé hlavní montážní rozměry palubních přístrojů pro montáž na palubní desku.

Na obrázku 16.10 jsou montážní rozměry přístrojů tzv. malé normy (průměr vnějšího kroužku číselníku 60 mm).

Na obrázku 16.11 jsou montážní rozměry přístrojů tzv. velké normy (průměr vnějšího kroužku číselníku 80 mm).

Na obrázku 16.12 jsou montážní rozměry umělého horizontu značky Horn (pro umělý horizont značky Sperry je průměr otvoru v palubní desce pouze 90 mm, při stejné roztečné kružnici otvorů pro šrouby).

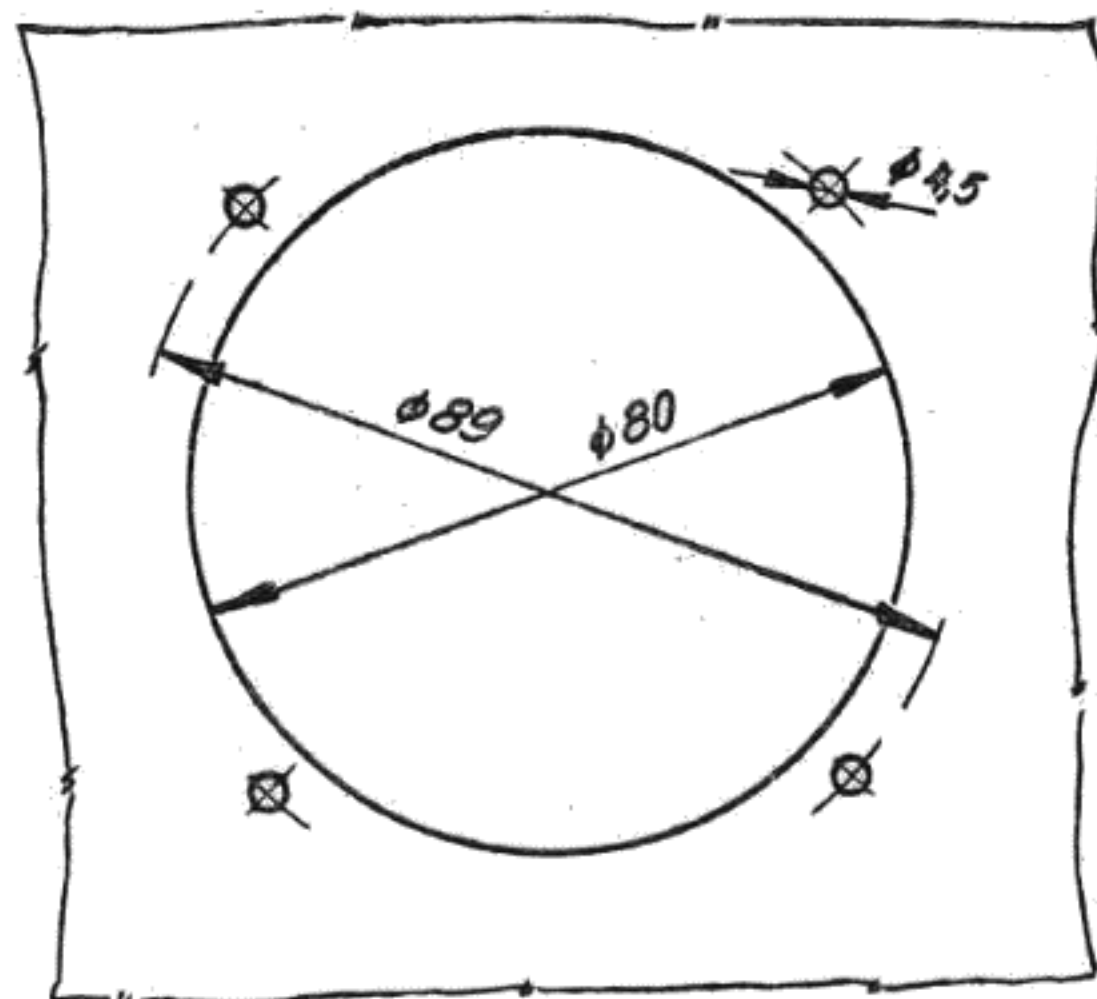
Uvedme si ještě schéma rozmístění jednotlivých skupin přístrojů na palubní desce u motorových letadel.

Všimněme si, že letové přístroje jsou umístěny bezprostředně před pilota. Na obrázku 16.13 je rozmístění přístrojů v jednomístném motorovém letadle, případně v letadle se sedadly pilotů za sebou, aby je měl pilot stále na očích.

Pod skupinou přístrojů pro kontrolu chodu motoru bývá někdy ještě umístěna radiostanice, pokud není na zvláštním pultu po pravé straně pilota.

Protože se palubní desky v aeroklubech někdy upravují nebo se mění rozmístění přístrojů, shrneme si nyní hlavní zásady pro rozmístění přístrojů na palubní desce větroně.

Rychloměr montujeme do



Obr. 16.11. Montážní rozměry přístrojů „velké normy“.

horní řady přístrojů vlevo. Zatačkoměr doprostřed do horní řady. Variometr do horní řady vpravo. Máme-li dva variometry, potom jemný dáme do horní řady vpravo, hrubý do spodní řady pod jemný. Výškoměr vlevo do spodní řady. Kompas doprostřed do spodní řady. Umělý horizont, případně směrový setrvačnick montujeme doprostřed dolů.

Kontrolní přístroje dýchače montujeme buď vpravo dolů nebo doprostřed dolů.

Ostatní přístroje a pomocné systémy, například vypínače, pouzdro baterie apod. umístíme buď vpravo dolů nebo mimo palubní desku.

Zvláštní pozornost při výměně nebo úpravě desky věnujeme správnému a pečlivému propojení hadiček přívodů tlaků, jak jsme si uvedli na obrázku 16.8 a 16.9.

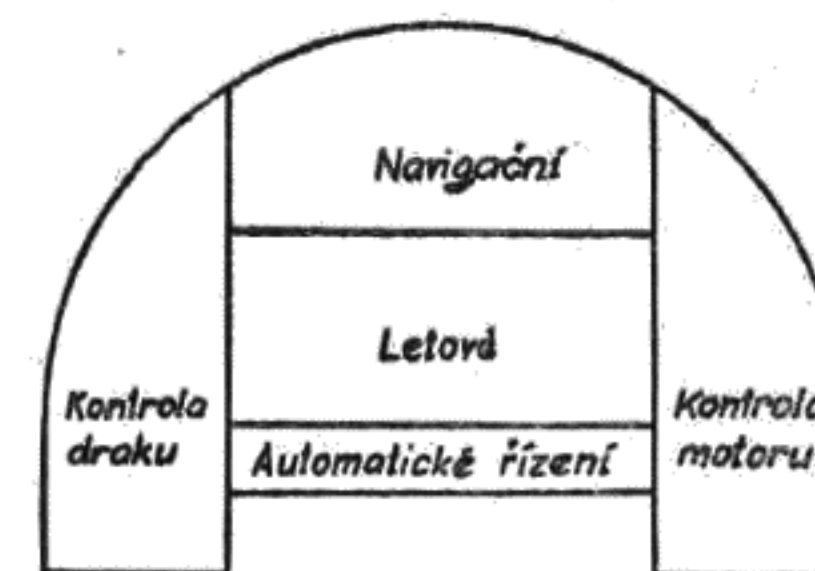
Některé nové přístroje mají u montážních otvorů zalisované matice, takže montáž přístroje na palubní desku se značně urychlí.

V dodatcích k této knize jsou uvedeny fotografie palubních desek některých československých větroňů. Můžeme sami posoudit, do jaké míry je rozmístění přístrojů na jednotlivých palubních deskách účelné a jak odpovídá zásadám, které jsou uvedeny v této kapitole.

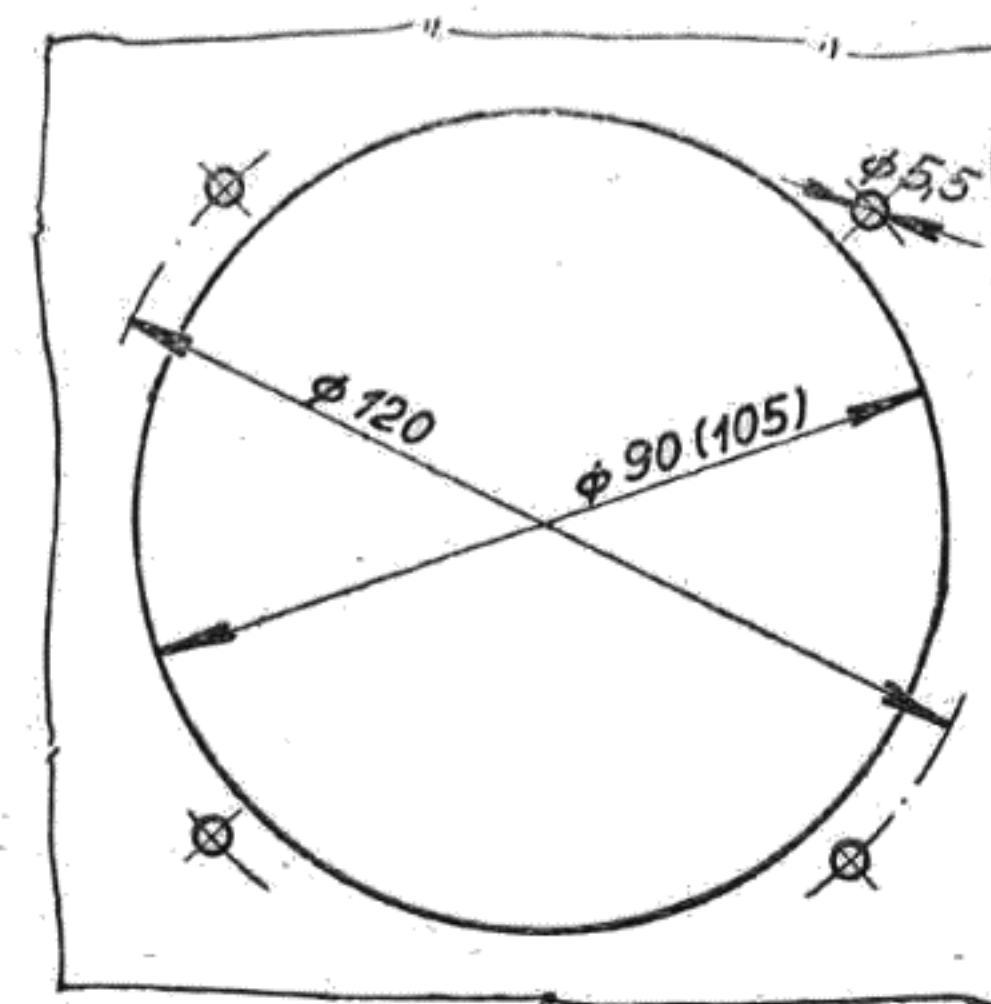
Nejdůležitější poučky z kapitoly

Převážná většina palubních přístrojů ve větroní slouží ke kontrole letu. Základními přístroji ve větroní jsou: variometr, rychloměr, výškoměr, kompas a zatačkoměr s příčným relativním sklonoměrem.

Jejich nejužívanější rozmístění je toto: rychloměr, zatačkoměr a variometr v horní řadě a výškoměr a kompas v druhé řadě. Celá palubní deska je odpružená, aby byly přístroje chráněny proti nárazům. Číselníky přístrojů jsou natřeny svítící hmotou pro let v noci. Nutno dbát správného a pečlivého propojení hadiček přívodů tlaků do přístrojů. Snímací trubice rychloměru chráníme při transportu větroně krytem. Všechny palubní přístroje musíme chránit proti nárazům a hrubému zacházení.



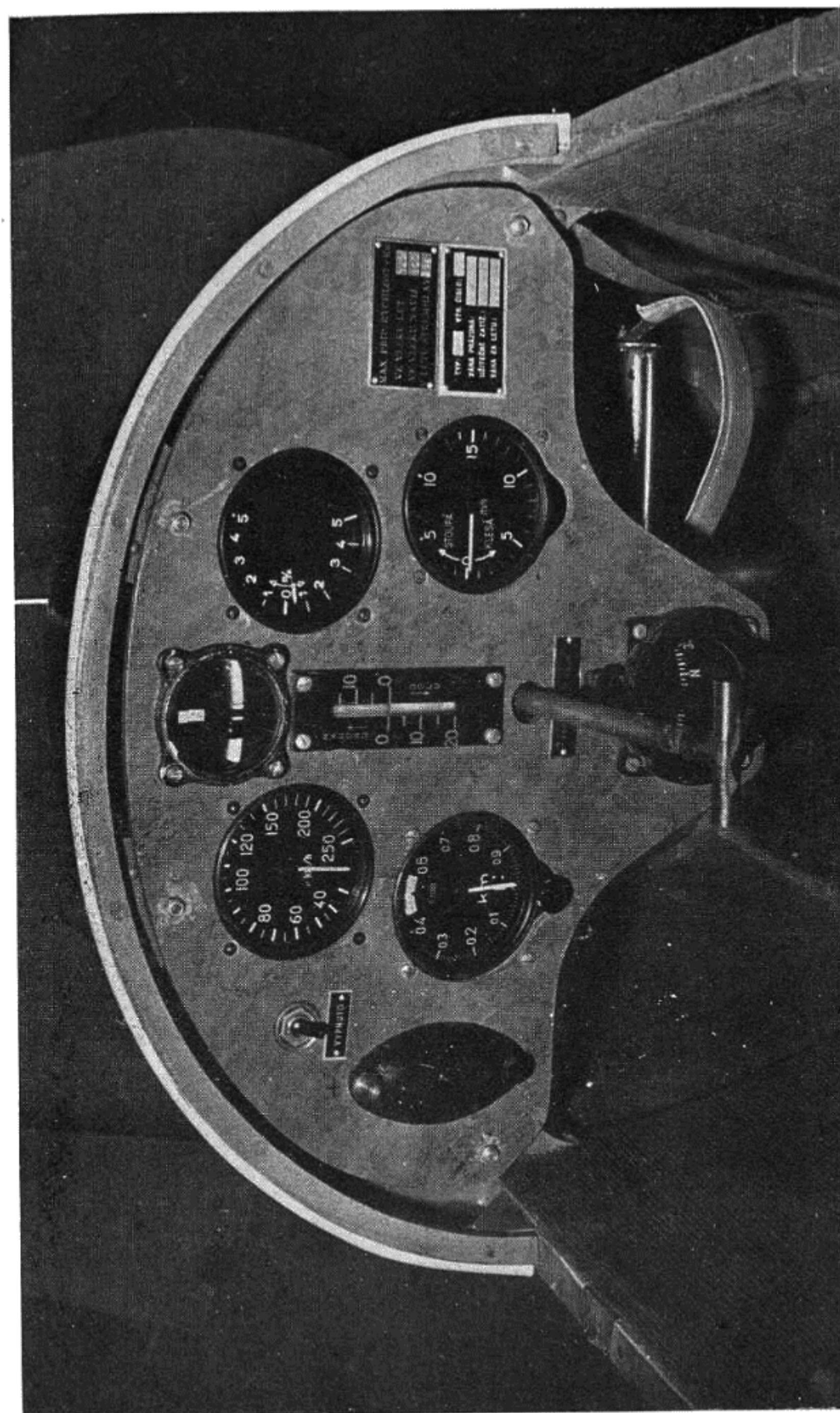
Obr. 16.13. Rozmístění skupin přístrojů na palubní desce motorového letadla.



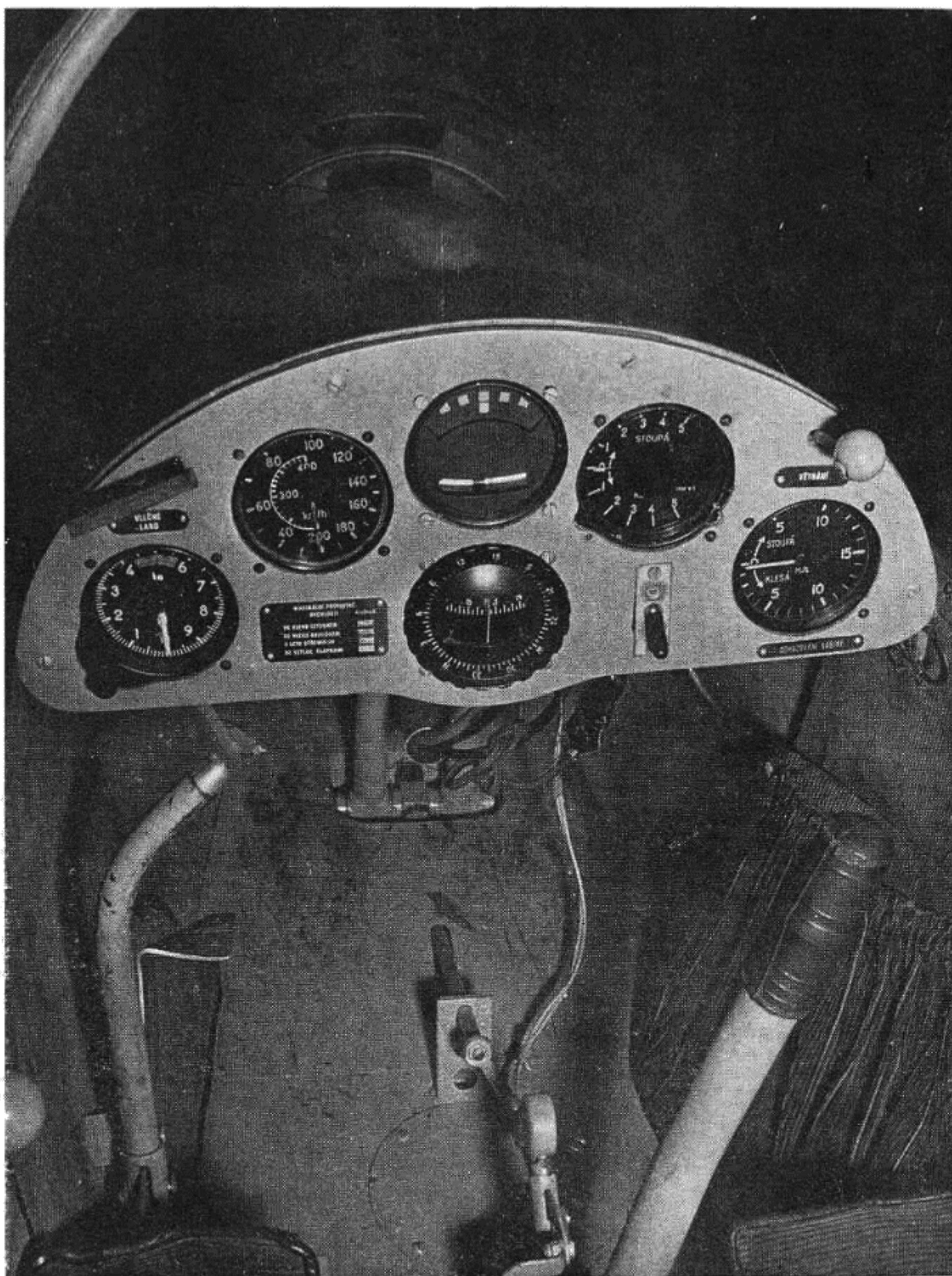
Obr. 16.12. Montážní rozměry umělých horizontů Horn a Sperry.

Kontrolní otázky

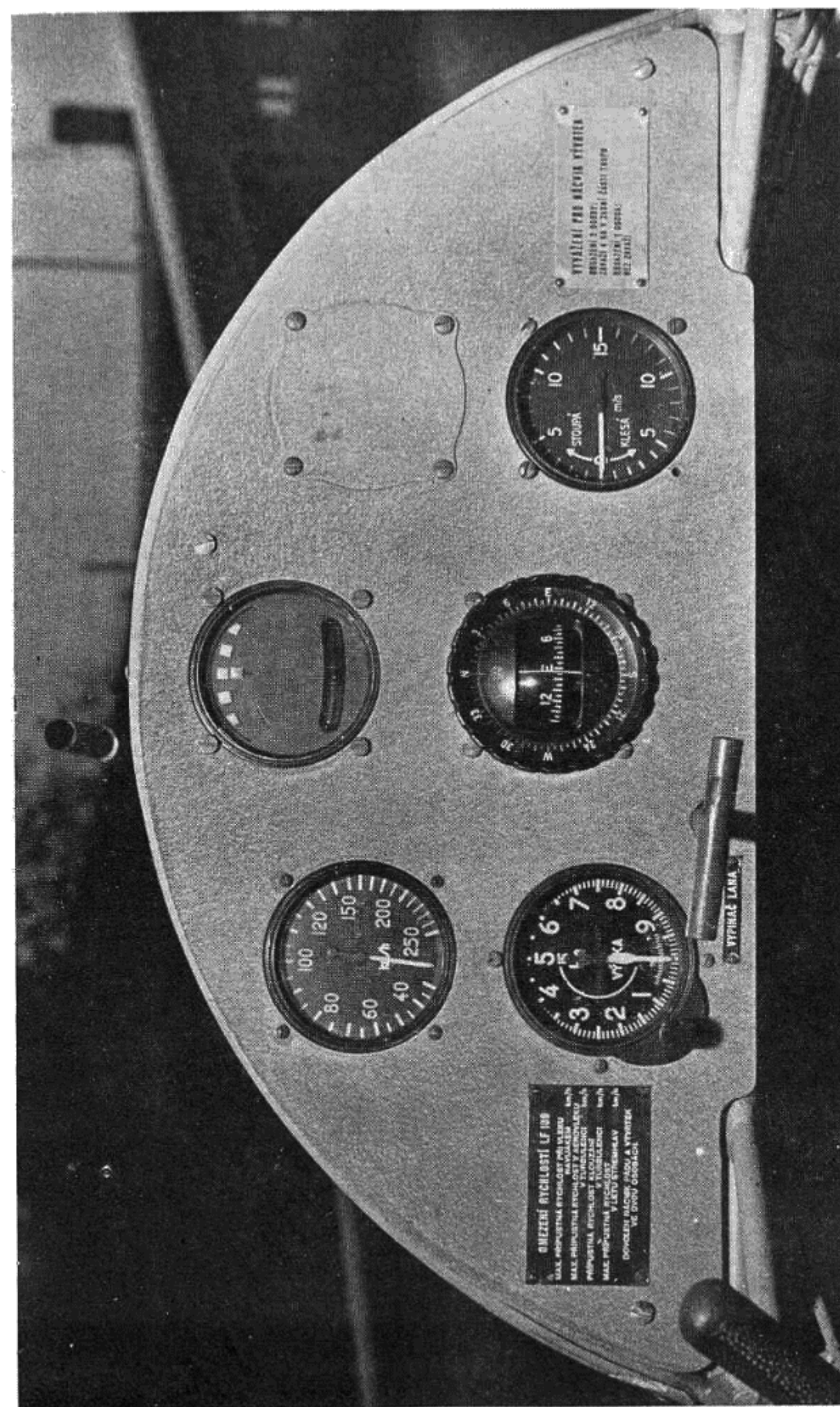
1. Jakého druhu palubních přístrojů se užívá ve větroni?
2. Vyjmenujte nejdůležitější přístroje ve větroni!
3. Popište základní používané rozmístění palubních přístrojů ve větroních!
4. Nač musíme dávat pozor při montáži zatáčkoměru na palubní desku?
5. Jakým způsobem je palubní deska přichycena ke konstrukci trupu?
6. Jsou číselníky přístrojů viditelné v noci?
7. Nakreslete správné propojení přístrojů při užití Venturiho trubice!
8. Nakreslete správné propojení přístrojů při užití Pitotovy trubice!
9. Co musíme v provozu na propojení přístrojů kontrolovat?
10. Co musíme chránit při transportu větrone po silnici?



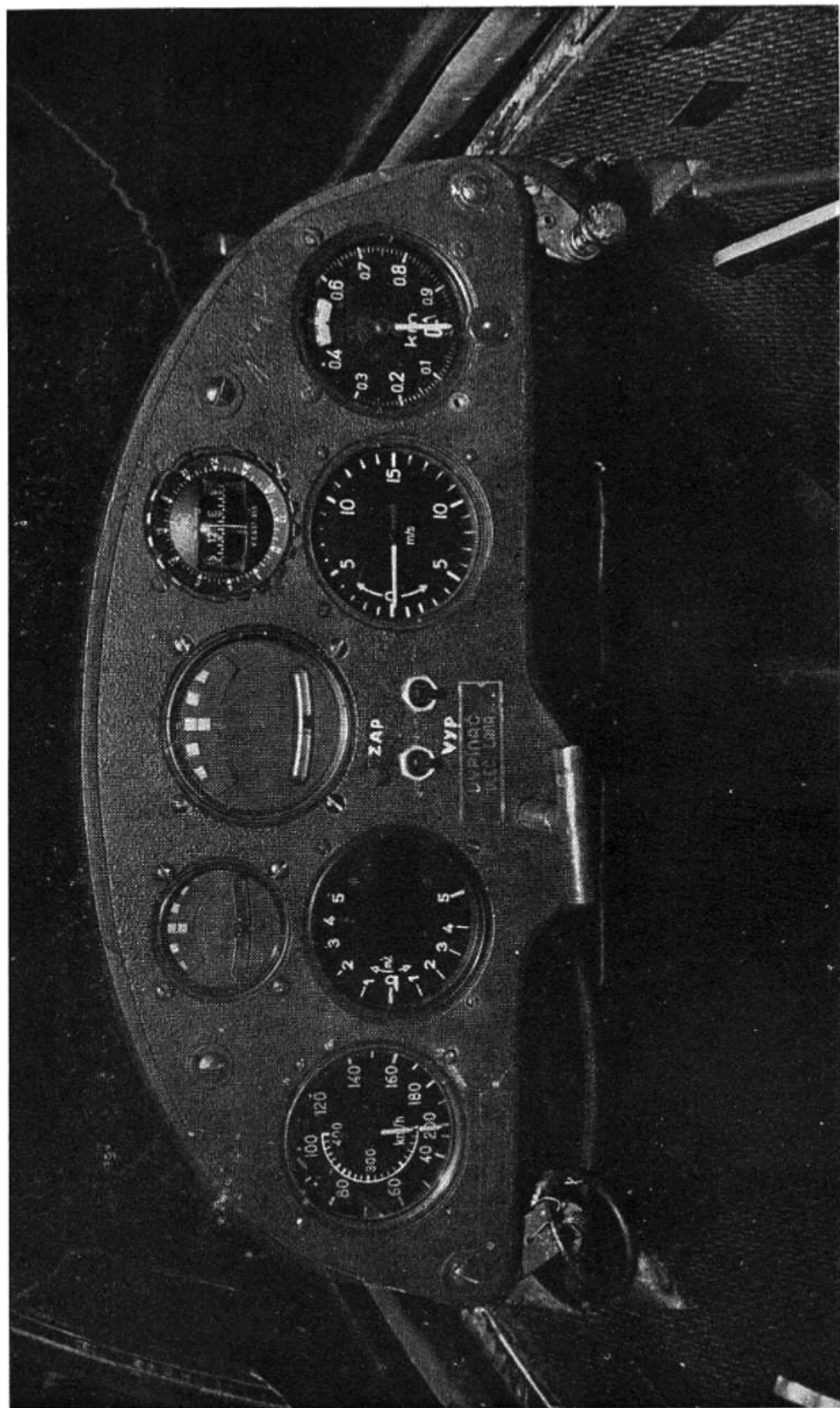
Palubní deska větrone VT-125. V horní řadě přístrojů jsou: rychloměr, zatáčkoměr, jemný klapkový variometr. Ve spodní řadě: výškoměr Fuess, podélný relativní sklonoměr, hrubý variometr s tlakoměrnými krabicemi. Vlevo nahoře je vypínač proudu do zatáčkoměru, pod ním kryt pouzdra baterie. Uprostřed zcela dole je magnetický kompas.



Palubní deska větroně VT-425. Přístroje zleva doprava: dvouručičkový výškoměr, rychloměr s prodlouženou stupnicí do 400 km/h pro zapojení na Pitotovu trubici, elektrický zatáčkoměr, pod ním magnetický kompas, jemný variometr, hrubý variometr (s tlakoměrnými krabicemi). Mezi kompasem a hrubým variometrem je vypínač zatáčkoměru.



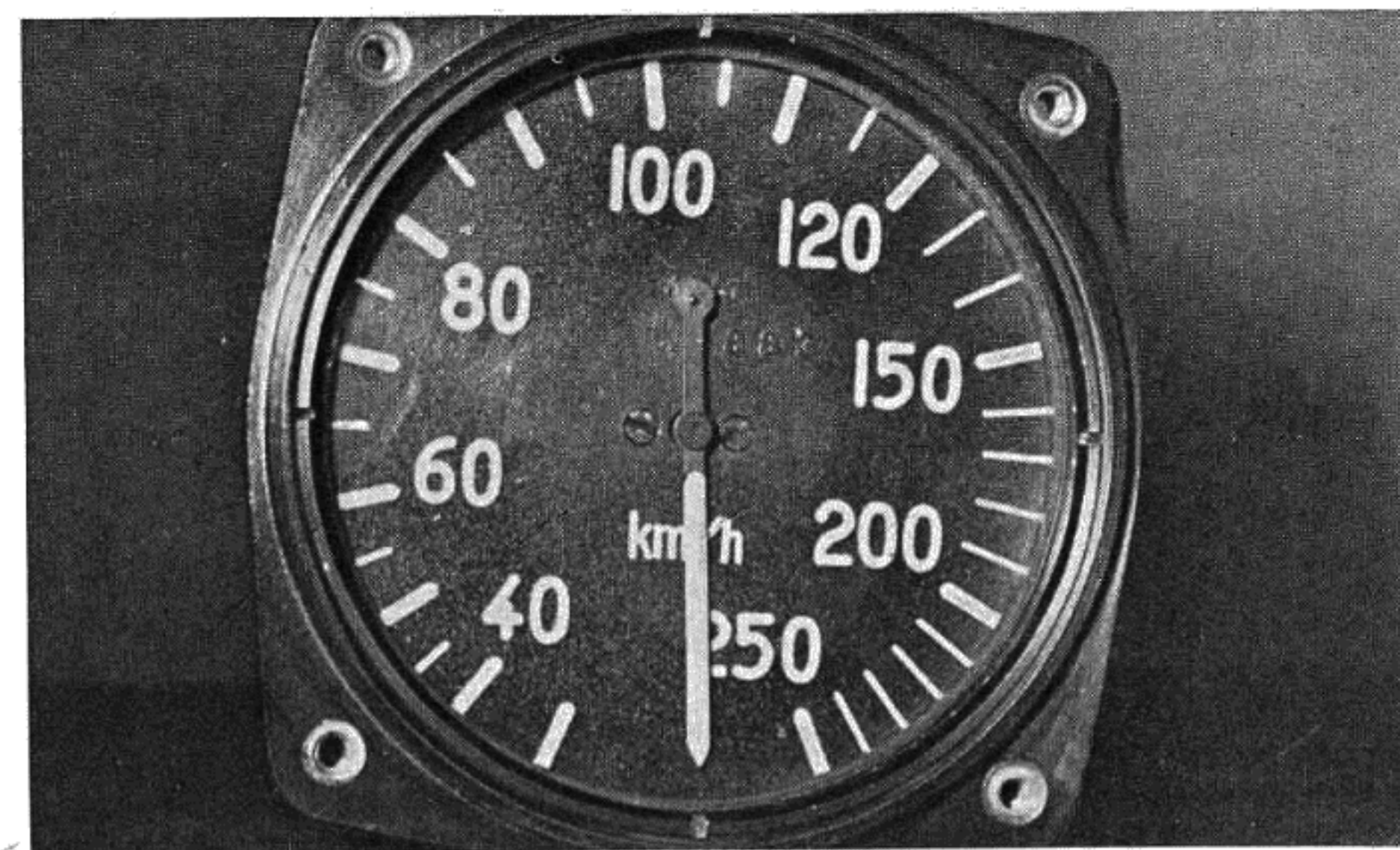
Palubní deska větroně VT-109 „Pionýr“. V horní řadě je rychloměr s rozsahem stupnice do 250 km/h pro zapojení na Venturiho trubici a elektrický zatáčkoměr. Ve spodní řadě jsou: dvouručičkový výškoměr s prodlouženou stupnicí do 15 km, kompas a hrubý variometr s tlakoměrnými krabicemi s rozsahem stupnice do ± 15 m/s.



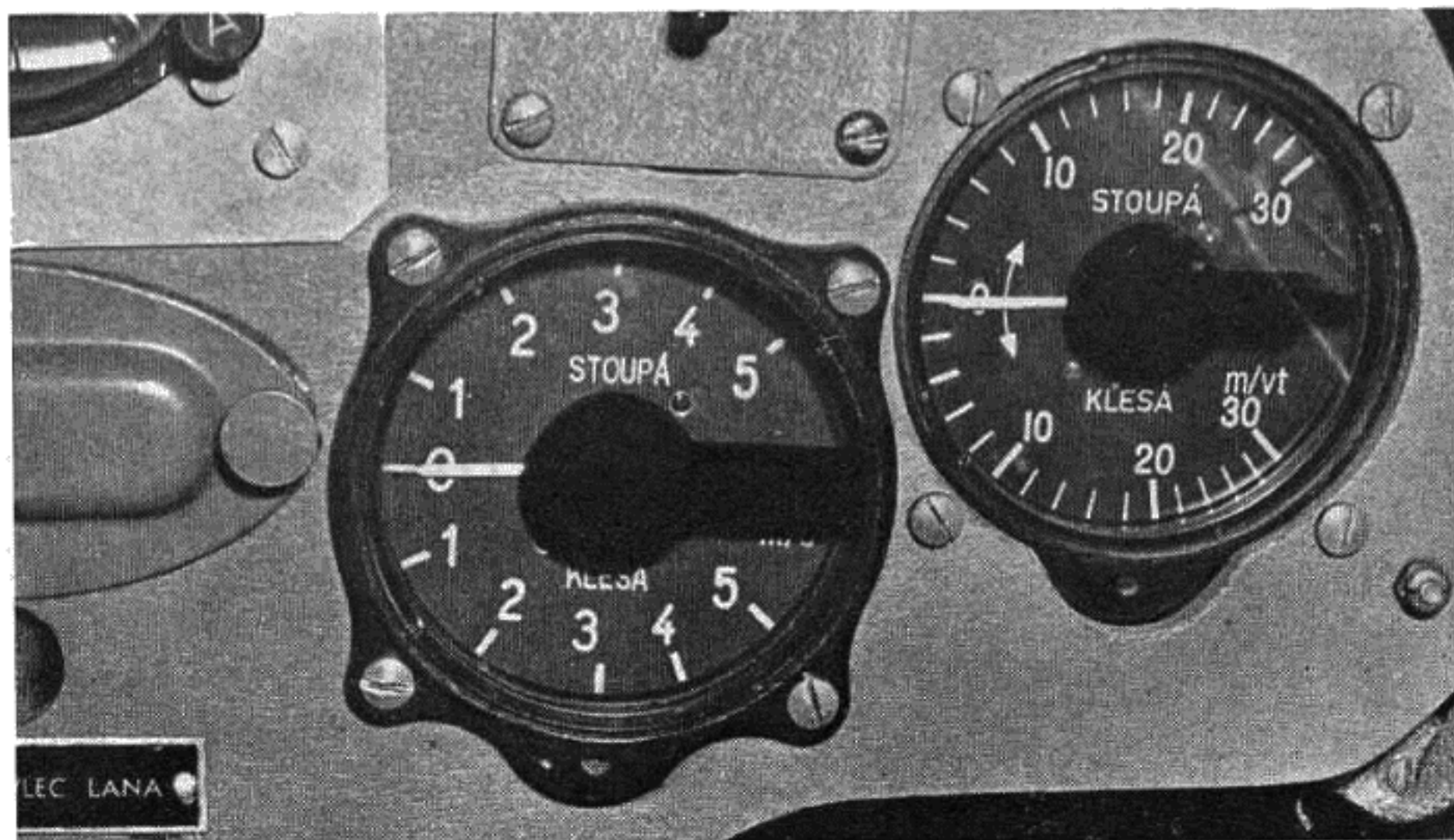
Palubní deska větroně VSM-40 „Démant“. V horní řadě jsou: dva elektrické zatačkoměry, kompas s kurzovou stupnicí. Ve spodní řadě jsou: rychloměr s prodlouženou stupnicí do 400 km/h pro připojení na Pitotovu trubici, jemný klapkový variometr s rozsahem stupnice ± 5 m/s, hrubý variometr s tlakoměrnými krabicemi s rozsahem stupnice ± 15 m/s, výškoměr Fuess. Mezi oběma variometry jsou vypínače zatačkoměrů.



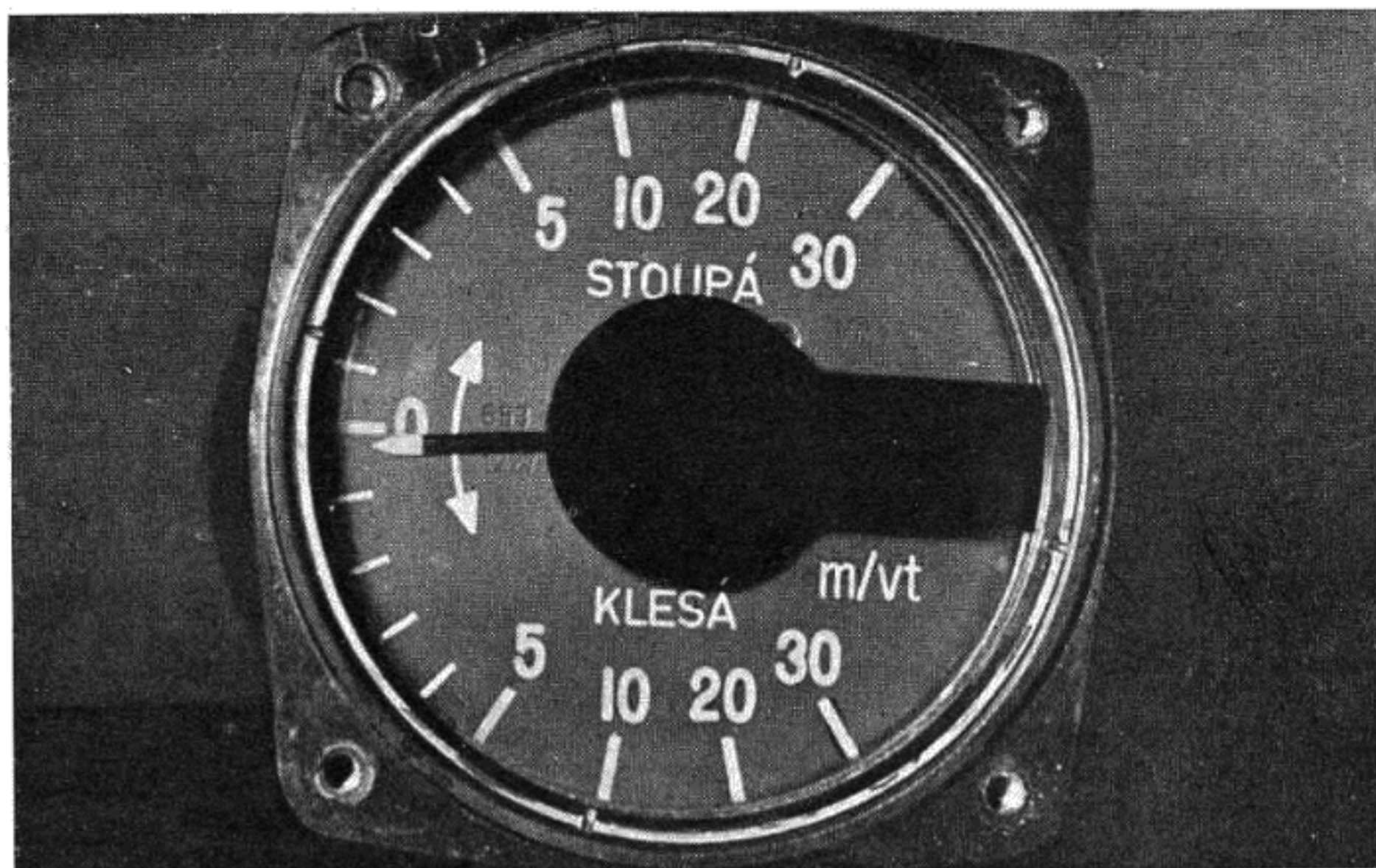
Detailní obrázek dvouručičkového výškoměru s tlakovou stupnicí v milibarech a rychloměru s prodlouženou stupnicí do 400 km/h pro připojení na Pitotovu trubici.



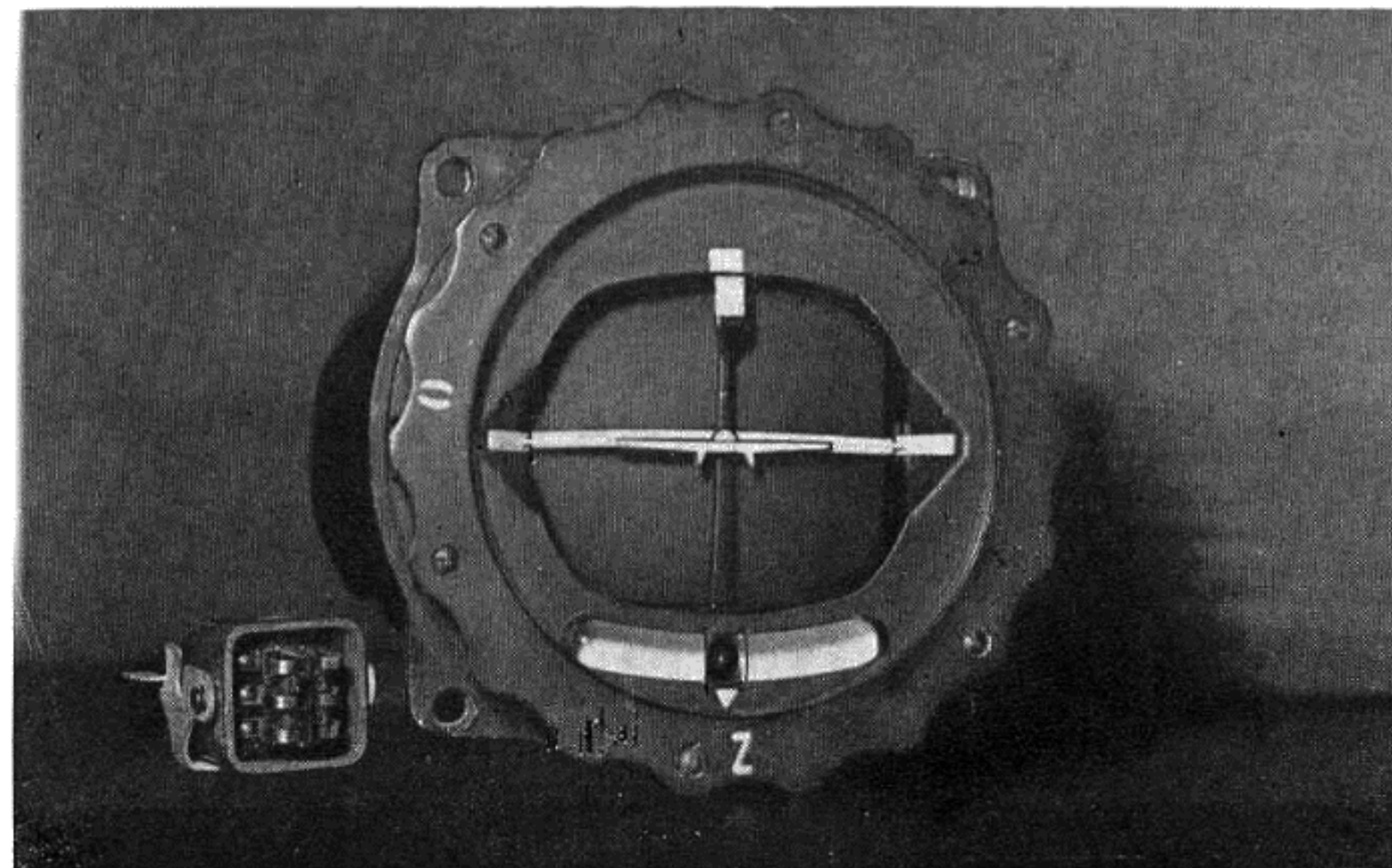
Detailní obrázek číselníku rychloměru s rozsahem stupnice do 250 km/h pro zapojení na Venturiho trubici.



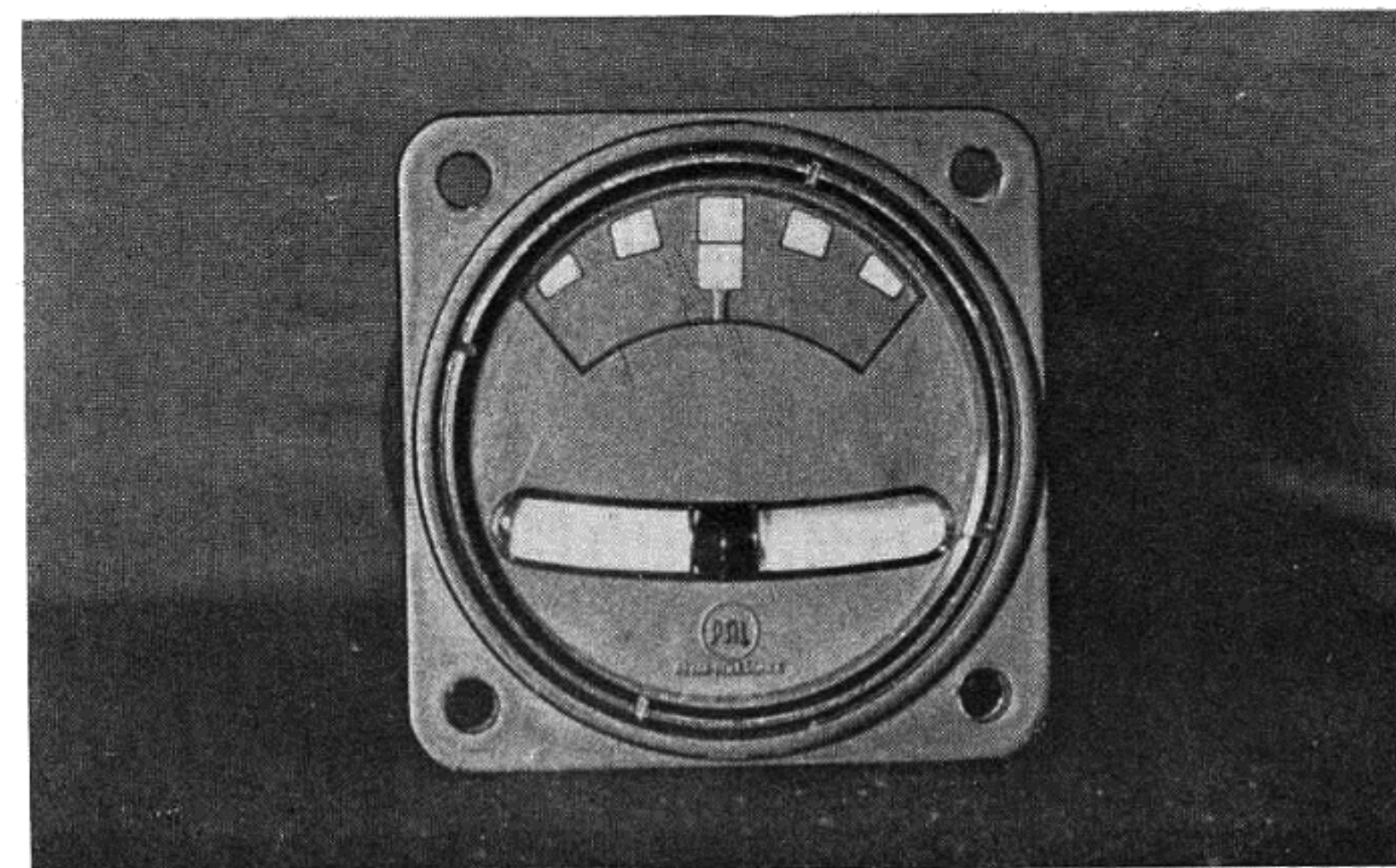
Detailní obrázek dvou klapkových variometrů. Levý má rozsah stupnice ± 5 m/s, pravý má rozsah stupnice ± 30 m/s.



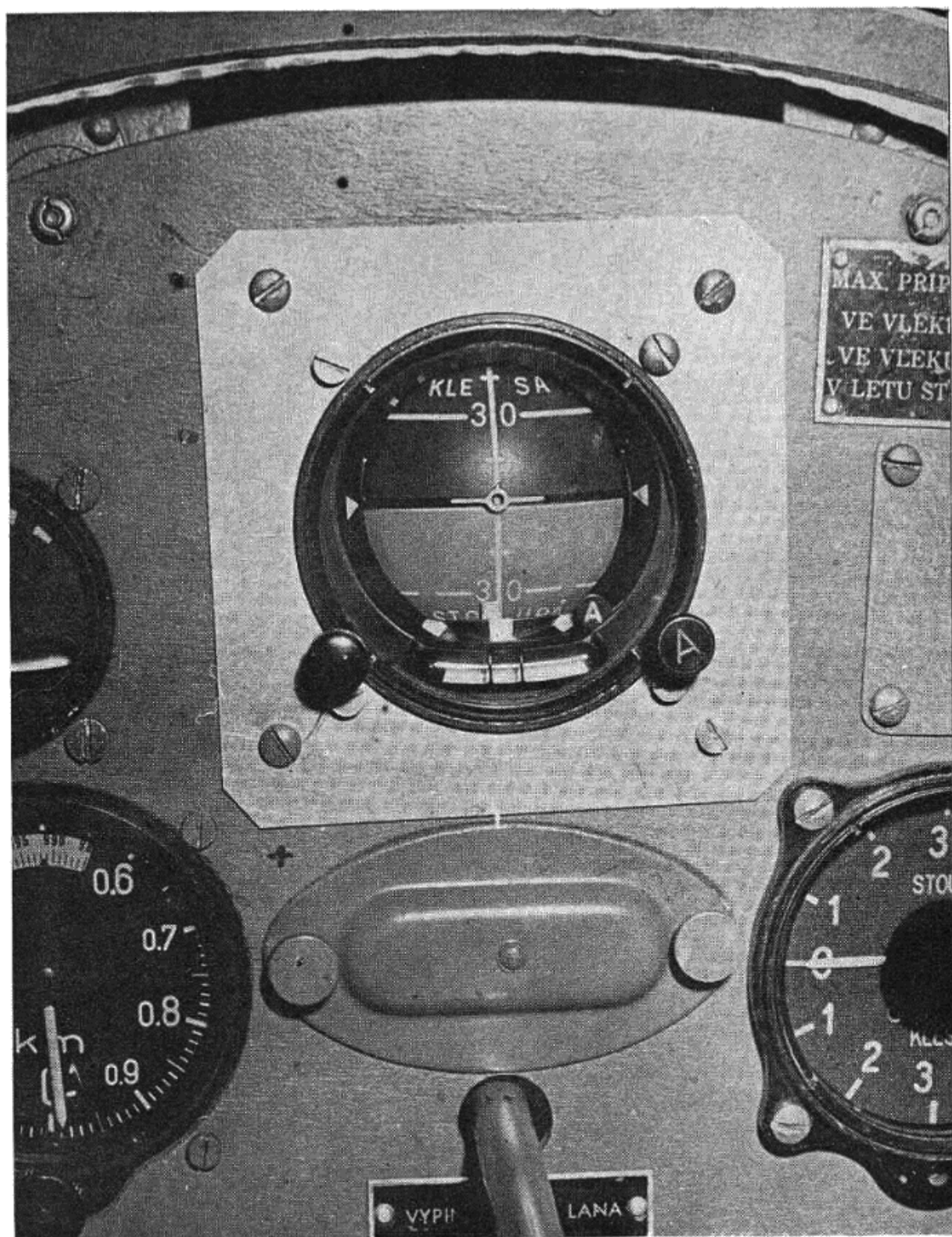
Detailní obrázek klapkového variometru s rozsahem stupnice ± 30 m/s s „jemným“ dělením v rozsahu ± 5 m/s.



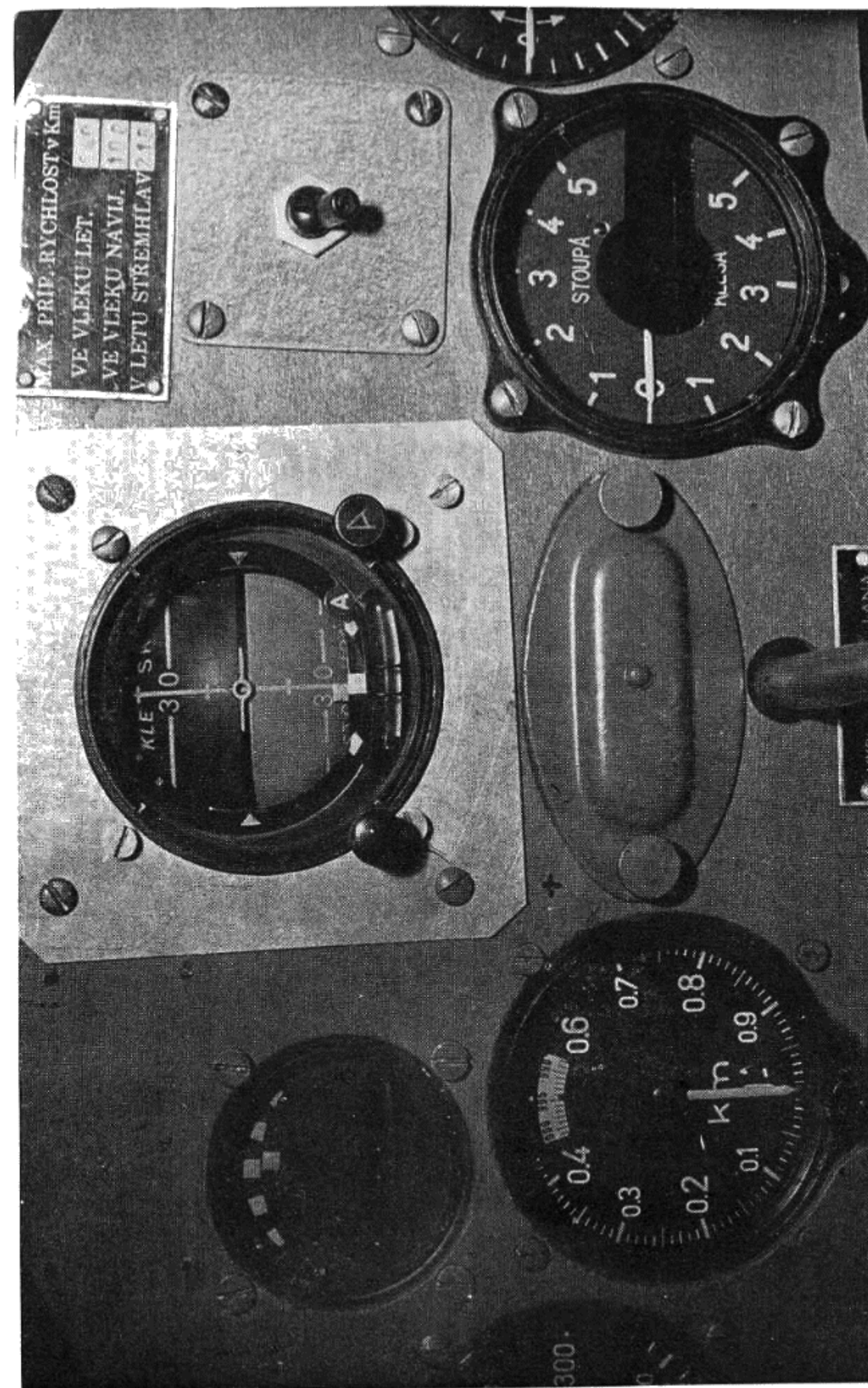
Čelní deska umělého horizontu klasického provedení (který je podrobně popsán v kapitole 10. na obrázcích 10.2 — 10.7.) se zabudovaným zatáčkoměrem a příčným relativním sklonoměrem.



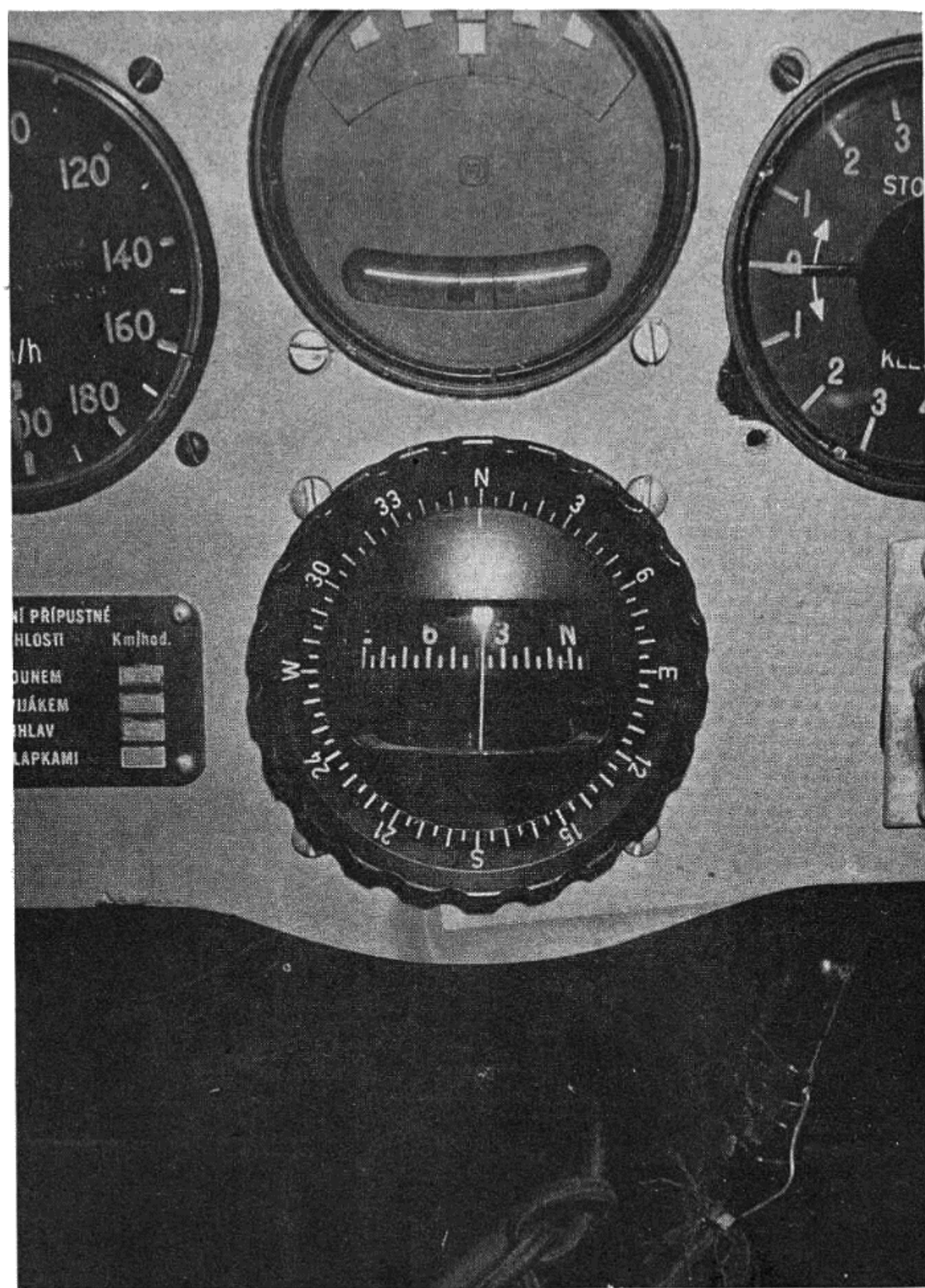
Detailní obrázek „pětiznačkového“ elektrického zatáčkoměru se zabudovaným příčným relativním sklonoměrem (kuličkou).



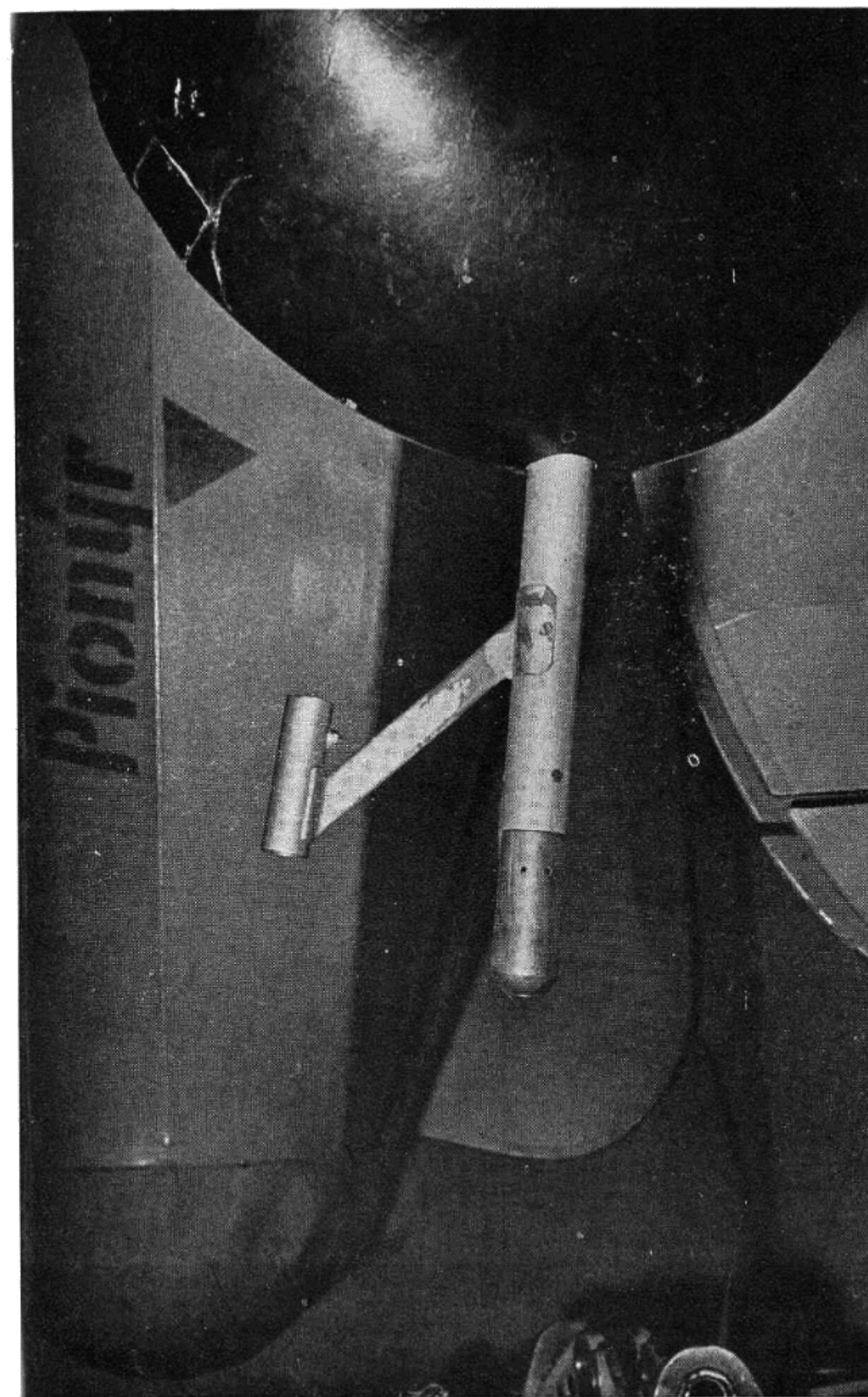
Umělý horizont československé výroby LUN-1202 s průměrem číselníku 80 mm. Přístroj na tomto obrázku je jeden z několika málo kusů tohoto typu umělého horizontu se setrvačníkem, poháněným stejnosměrným proudem 12 voltů. Pohon stejnosměrným proudem má proti pohonu střídavým proudem značné výhody zvláště pro větroně (odpadá těžký měnič, který je kromě toho (jde-li o rotační měnič) značně hlučný). Vzdor těmto výhodám se u nás zatím tato varianta umělého horizontu LUN-1202 nevyrábí.



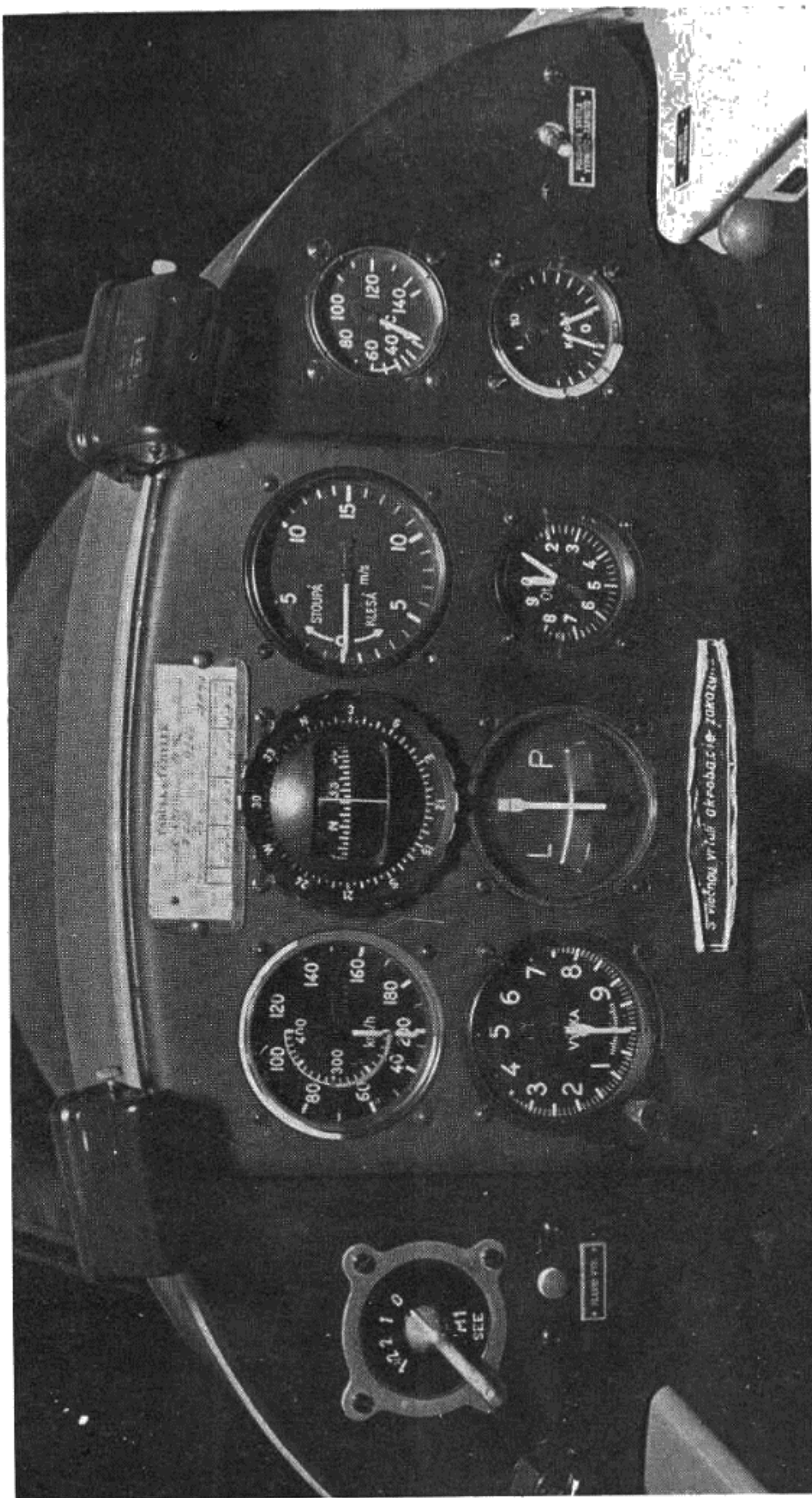
Na obrázku vidíme umělý horizont LUN-1202 se stejnosměrným pohonem setrvačníku v palubní desce větroně VT-125. Na obrázku vidíme ještě vlevo nahoře pětiznačkový elektrický zatačkoměr Fuess a vpravo dole jemný klapkový variometr se stupnicí do ± 5 m.



Detailní obrázek číselníku magnetického kompasu s kursovou stupnicí. Přístroj ukazuje kurs 38°.



Speciální Venturiho trubice pro Tevar na Pitotově trubici větroně VT-425, jak jsme si ji popsali v obrázcích 7.9. — 7.11. v kapitole 7. (V zataženém stavu.)



Palubní deska motorového letadla Z-226 „Bohatýr“. Zcela vlevo je přepínač magnet. Na střední části palubní desky je v horní řadě: rychloměr s prodlouženou stupnicí do 400 km/h pro připojení na Pitotovu trubici, magnetický kompas s kurzovou stupnicí a hrubý variometr s rozsahem ± 15 m/s. Ve spodní řadě je dvouručičkový výškoměr, elektrický zatáčkoměr a otáčkoměr motoru (magnetický s dálkovým přenosem údaje). Na pravé části palubní desky jsou teploměr oleje s rozsahem stupnice do 140°C (nahore) a kombinovaný tlakoměr oleje a paliva. Tlak oleje ukazuje pravá ručička na stupnici s rozsahem $0 \div 10 \text{ kg/cm}^2$, tlak paliva ukazuje levá ručička na stupnici s rozsahem $0 \div 1 \text{ kg/cm}^2$. Nad magnetickým kompasem vidíme kompenzační tabulku. Nad palubní deskou jsou dva kryty osvětlovacích žárovek, které osvětlují palubní desku při letu v noci.

17. PŘEHLED PŘÍSTROJŮ

V této kapitole je uveden přehled leteckých přístrojů, zařízení a pojmů, se kterými můžeme někdy přijít do styku ať přímo nebo při studiu literatury z oboru leteckých přístrojů.

Uvedený přehled nám umožní rychle si objasnit funkci či určení určitého přístroje nebo význam určitého názvu.

Protože se v knize uvádí buď přímo nebo ve zmínce veliké množství přístrojů, jejichž názvy nejsou všeobecně známé, jsou v seznamu uvedeny i přístroje, které uvádí některá z kapitol knihy. Jejich popis je ovšem stručnější a informativnější než u ostatních přístrojů. Přístroje, které se v knize probírají, jsou označeny v přehledu*) a je u nich udána kapitola knihy, ve které se podrobněji popisují.

V seznamu přehledu budeme hledat název vždy podle základní funkce nebo určení přístroje. Tak například dilatační teploměr budeme hledat pod „T“, protože jde o teploměr.

Přehled přístrojů nám pomůže nejen při prvním seznamování s leteckými přístroji, ale také při opakování znalostí a při studiu literatury.

* **ABSOLUTNÍ SKLONOMĚR** = umělý horizont, je setrvačnickový přístroj pro určování polohy letadla za nerovnoměrného letu bez viditelnosti země. (Kapitola 10.)

AKCELEROGRAF je přístroj, který zaznamenává průběh zrychlení ve směru některé osy letadla na záznamní papír v závislosti na čase. Užívá se ho při zkušebních letech nových letadel nebo při speciálních zkouškách letadel. Stupnice zrychlení je cejchována v násobcích zemského tíhového zrychlení g . Je to registrační akcelerometr.

AKCELEROMETR udává velikost zrychlení v určitém směru (ve směru některé osy letadla – nejčastěji ve směru kolmé osy letadla). Užívá se při měřicích nebo zkušebních letech a ve všech vojenských letadlech, která provádějí prudké obraty. Zrychlení se udává v násobcích zemského tíhového zrychlení g . Znalost velikosti zrychlení v určité fázi letu je nutná proto, aby se v žádném případě nepřekročila přípustná hranice namáhání letadla nebo pilota.

ANALYZÁTOR VÝFUKOVÝCH PLYNŮ, přístroj, sloužící pro kontrolu správného spalování paliva ve válcích motoru (správného poměru paliva a vzduchu pro určité otáčky motoru a určitou výšku letu). Přístrojem měříme vlastně změnu elektrického napětí, vyvolanou různým „ochlazováním“ elektrického odporového tělíska, umístěného ve výfukovém potrubí motoru, vlivem změny složení výfukových plynů. Přístroje se užívá u větších letadel.

ANEMOMETR měří rychlost větru a někdy i směr větru. Pro snímání rychlosti větru se nejčastěji užívá tzv. Robinsonova kříže (vysvětleno dále). Rychlost větru se určuje z počtu otáček Robinsonova kříže pomocí elektrického ukazovacího přístroje v m/s, knotech nebo km/h.

ANEROID je přístroj, užívaný na meteorologických stanicích apod. k určení barometrického tlaku vzduchu. Tlak se měří jednou nebo více tlakoměrnými krabicemi, jejichž deformace při změnách tlaku se přenáší na ručičku. Kon-

strukce a funkce přístroje jsou shodné s konstrukcí a funkcí barometrického výškoměru.

AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ = automatický pilot. Toto zařízení větších letadel slouží k samočinnému řízení letadla, tj. k udržování nastavených parametrů letu. Pro udržování „rovnováhy“ letadla slouží dva setrvačníky, uložené v kardanovém závěsu (jako u umělého horizontu). Setrvačníky zachovávají stále stejnou polohu a každá změna polohy letadla (změna polohy letadla vzhledem k setrvačníkům) je popudem k automatickému navrácení letadla do původní polohy. Moderní automatická řízení jsou doplněna ještě výškoměrem a směrovým setrvačníkem, takže letadlo může automaticky zachovávat (udržovat) výšku letu a nastavený kurs letu.

BAROMETR = staniční barometr. Je to přístroj, užívaný v meteorologických stanicích apod. k určování přesného barometrického tlaku vzduchu. Měří se výška rtuťového sloupce ve skleněné trubici, vytlačeného tlakem vzduchu.

* **BAROGRAF**. Registrační výškoměr, užívaný při rekordních nebo zkouškových letech. (Kapitola 5.)

* **BOURDONOVO PERO**. Element tlakoměrných přístrojů. (Kapitola 13.)

DERIVOMETR slouží pro zjištění snosového úhlu za letu, tj. úhlu mezi podélnou osou letadla a dráhou letadla, promítnutou na zemský povrch. Užívá se u dopravních a hlavně u vojenských letadel.

* **DIREKČNÍ** (Directional gyro) = směrový setrvačník. Přístroj k určení kursu letadla při nerovnoměrných letech. (Kapitola 12.)

* **GYROHORIZONT** = umělý horizont (= absolutní sklonoměr). (Kapitola 10.)

GYROSKOPICKÉ KYVADLO je zvláštní typ umělého horizontu, kde je užito setrvačníku se dvěma stupni volnosti s osou otáčení poněkud pod osou otáčení rámečku. Při zatáčení letadla se vyrovná vliv gyroskopického momentu s momentem odstředivé síly, takže osa rámečku zachovává vodorovnou polohu a tvoří tak „umělý horizont“.

GYROREKTOR je starší typ umělého horizontu, ukazující příčný sklon letadla, podélný sklon letadla a skluz. Jeho tři samostatné části jsou: gyroskopické kyvadlo, volné kyvadlo a libelový podélný sklonoměr.

CHRONOGRAF slouží pro měření časových úseků. Kromě normálních hodinových ručiček má ještě ručičky zvláštní, které lze kdykoli spustit nebo zastavit (jako u stopky) a tak měřit časové úseky ve vteřinách, minutách nebo i v celých hodinách.

CHRONOMETR = přesné hodiny.

INDIKÁTOR ÚHLU NÁBĚHU je přístroj, ukazující úhel náběhu křídla letadla nebo ukazující (signalizující) dosažení nebo překročení kritického úhlu náběhu.

KALKULÁTOR = počítač.

* **KOMPAS DÁLKOVÝ** je kompas, rozdělený ve vysílač (umístěný daleko od rušivých vlivů, například v zadní části trupu) a ukazatel na palubní desce. (Kapitola 11.)

KOMPAS ELEKTRONICKÝ je obdoba indukčního kompasu, u kterého se vodorovné složky intenzity zemského magnetismu využívá pro odchylování proudu elektronů v katodové trubici (obrazovce). Těchto typů kompasů se dnes již nepoužívá.

KOMPAS GYROINDUKČNÍ je kompas, u kterého směrový setrvačník udává kurs letadla a jeho údaj je korigován indukčním kompasem.

KOMPAS GYROMAGNETICKÝ je směrový setrvačník, řízený magnetickým kompasem.

KOMPAS HVĚZDNÝ je obdobný přístroj jako sluneční kompas, který využívá k určení kursu některé stálice (sluneční kompas užívá polohy Slunce).

KOMPAS INDUKČNÍ. Přístroj, určující směr intenzity horizontální složky zemského magnetického pole (zemský poledník). Přístroj nemá tedy otočný magnetický systém.

* **KOMPAS MAGNETICKÝ**. Kompas, využívající zemského magnetického pole. (Kapitola 11.)

* **KOMPAS MATEŘSKÝ** je vlastní kompas (vysílač) dálkového kompasu. (Kapitola 11.)

* **KOMPAS PILOTNÍ**. Přímý magnetický kompas, kterého užívá pilot. (Kapitola 11.)

KOMPAS PNEUMATICKÝ DÁLKOVÝ. Typ magnetického dálkového kompasu, u kterého se pro dálkový přenos údaje z mateřského kompasu na ukazatel (sesterský kompas) užívá pneumatického obvodu.

KOMPAS POZOROVATELSKÝ. Kompas, kterého užívá pozorovatel nebo navigátor (letovod). Údaj tohoto přístroje se čte většinou shora.

* **KOMPAS SESTERSKÝ** je ukazatel dálkového kompasu na palubní desce letadla. (Kapitola 11.)

KOMPAS SETRVAČNÍKOVÝ. Kompas, podobný směrovému setrvačníku, kterého se v letectví pro jeho velikou váhu neužívá.

KOMPAS SLUNEČNÍ je typ kompasu, užívaného hlavně při letech v blízkosti zemských pólů (magnetických). Jeho princip je podobný jako u slunečních hodin.

KOMPUTOR je cizí název pro počítač. V letectví se tak nazývá kruhové navigační pravítko (navigační kotouč).

KRUHOVÉ NAVIGAČNÍ PRAVÍTKO = navigační kotouč. Je to vlastně kruhové logaritmické pravítko se stupnicemi, upravenými pro navigační výpočty. Slouží pro výpočet všech základních navigačních úloh.

* **LIBELA ELEKTROLYTICKÁ**. Element korekčního zařízení umělého horizontu, kterým se staví osa otáčení setrvačníku stále do svislé polohy (tj. kolmo k zemi). (Kapitola 10.)

* **LIBELA RTUŤOVÁ**. Element korekčního zařízení umělého horizontu, kterým se staví osa otáčení setrvačníku stále do svislé polohy. (Kapitola 10.)

LINK-TRAINER = pilotní cvičná kabina. Je to zařízení, sloužící k výcviku pilotů v létání podle přístrojů. Je to model kabiny určitého letadla (ve skutečné velikosti) s veškerým přístrojovým vybavením. Pomocí pneumatického nebo elektrického systému reaguje toto „letadlo“ na veškeré pohyby řízením tak, jako skutečné letadlo za letu. S tímto zařízením se dají provádět i „navigační lety“ podle pokynů učitele, který sedí u řídicího pultu a sleduje činnost pilota na mapě, kam se poloha „letadla“ automaticky zanáší.

MACHMETR ukazuje Machovo číslo letu, což je poměr mezi relativní rychlostí letadla a rychlostí zvuku. Znalost Machova čísla je velice důležitá pro rychlá letadla. Měřicími elementy jsou dvě tlakoměrné krabice (tlakoměrná krabice celkového tlaku a tlakoměrná krabice statického tlaku, tj. tlakoměrné krabice rychloměrná a výškoměrná). Zdvihy tlakoměrných krabic jsou potom svázány převody tak, že ručička přístroje ukazuje přímo Machovo číslo letu.

MAGNESYN je druh bezkontaktního selsynu. Od selsynu se liší tím, že rotor nemá elektromagnet, ale permanentní magnet.

MANOMETR = tlakoměr.

MĚNIČ ELEKTRICKÝ je zařízení, kterým se přeměňuje určitý druh elektrické energie na jiný druh elektrické energie. Například rotační měnič je motor-generator, který přeměňuje stejnosměrné napětí 27 voltů na střídavé napětí 3×36 voltů 400 cyklů/vteřinu nebo stejnosměrné napětí 24 voltů na střídavé napětí 3×36 voltů 500 cyklů/vteřinu, kterým se napájí například elektromotorek setrvačníku umělého horizontu. Transistorový měnič (oscilátor)

mění například stejnosměrné napětí 24 voltů na střídavé napětí 105 voltů 500 cyklů/vteřinu.

NAVIGAČNÍ AUTOMAT. Zařízení, pomáhající při navigaci při delších letech. Samočinně (automaticky) určuje buď zeměpisné souřadnice polohy letadla nebo polohu letadla, udanou v souřadnicích v kilometrech od místa startu, nebo registruje zeměpisnou polohu letadla přímo na mapu.

NAVIGAČNÍ KOORDINÁTOR je typ navigačního automatu, který automaticky ukazuje zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku polohy letadla, ve které právě je. Přístroj automaticky zpracovává údaj dálkového kompasu a relativního rychloměru.

NAVIGAČNÍ KOTOUČ = kruhové navigační pravítko.

NAVIGAČNÍ PRAVÍTKO je logaritmické pravítko se stupnicemi upravenými pro navigační výpočty. Slouží pro výpočet všech základních navigačních úloh.

OKTANT je přístroj, sloužící pro astronomickou navigaci (navigaci podle hvězd). Měří výšku známé hvězdy, tj. úhel mezi horizontální rovinou a směrem ke hvězdě (stálici). Oktantem se nazývá proto, že má stupnici v rozsahu jedné osminy kruhu (okto = latinsky osm).

OKTANT LIBELOVÝ. Oktant, který má pro kontrolu horizontální polohy libelu.

* **OTÁČKOMĚR MAGNETICKÝ** měří otáčky leteckého motoru. Využívá vířivých proudů. (Kapitola 13.)

* **OTÁČKOMĚR ODSTŘEDIVÝ.** Měří otáčky leteckého motoru tím, že určuje polohu závažíček na ramenech, která se vlivem odstředivé síly více nebo méně vzdalují od osy otáčení. (Kapitola 13.)

OTÁČKOMĚR CHRONOMETRICKÝ měří otáčky například leteckého motoru tak, že určitou dobu (udávanou stopkami, zamontovanými do přístroje) sčítá otáčky. Přístrojem se tedy měří průměrné otáčky za určitou dobu. Užívá se ho při měření otáček motoru ve zkušebně apod.

* **PALIVOMĚR JEDNODUCHÝ PLOVÁKOVÝ** měří množství paliva v nádrži tím, že tyčinka pevně spojená s plovákem nám ukazuje přímo množství paliva v nádrži. (Kapitola 13.)

* **PALIVOMĚR S PLOVÁKEM NA RAMENU.** Poloha plováku v nádrži se výkyvným ramenem přes převod přenáší na stupnici (ručičku). (Kapitola 13.)

* **PALIVOMĚR SE ŠROUBOVÝM POHYBEM PLOVÁKU.** Pohyb plováku v nádrži je šroubový a tento pohyb (otáčení plováku při změně paliva v nádrži) se přenáší na ručičku. (Kapitola 13.)

PALIVOMĚR KAPACITNÍ měří množství paliva v nádrži tím, že měří změnu elektrické kapacity speciálního kondenzátoru, ponořeného do paliva v nádrži.

* **PALIVOMĚR PNEUMATICKÝ** měří hydrostatický tlak paliva v nádrži. (Kapitola 13.)

* **PALIVOMĚR S DÁLKOVÝM PŘENOSEM ÚDAJE.** Pohyb plováku se místo na ručičku převádí na vysílač, odkud se potom poloha plováku přenáší například elektricky na ukazatel na palubní desce. (Kapitola 13.)

PALIVOMĚR SOUČTOVÝ měří celkovou zásobu paliva ve více palivových nádržích.

PILOTNÍ CVIČNÁ KABINA = Link-trainer.

* **PITOTOVA TRUBICE.** Snímací element relativního rychloměru. (Kapitola 6.)

* **POLOHOZNAK.** Přístroj, určující polohu některé pohyblivé části draku letadla, tj. podvozku, vyvažovacích plošek, vztlakových klapek, brzdících klapek, kormidel apod. (Kapitola 14.)

* **PRANDTLOVA TRUBICE.** Snímací element relativního rychloměru. (Kapitola 6.)

PŘENOSNÝ OPTICKÝ ZAMĚŘOVAČ. Užívá se ho k přesnému určení směru magnetické růžice při kompenzování kompasu tam, kde není k dispozici kompenzační kruh.

RADIOKOMPAS udává zaměření polohy letadla vzhledem k ose letadla. Pomáhá řešit řadu navigačních úloh. Přístroj natáčí zcela automaticky rámovou anténu do směru přicházejícího elektromagnetického vlnění vyladěného pozemního vysílače a tím udává jeho zaměření.

RADIOSONDA je kombinovaný přístroj pro meteorologické účely. Měří tlak vzduchu, teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu při výstupu s balónem. Údaje jednotlivých přístrojů se vysílají rádiem na zem. Radiosonda i s akumulátory pro napájení vysílače váží asi 0,35 kg a je zavěšena pod balónem o průměru asi 2 metry. Balón se plní vodíkem a to tak, aby rychlost stoupání sondy s balónem byla 300 m/min. Sledováním balónu při výstupu buď teodolitem nebo radarem je možno určit směr a rychlost výškového větru.

RADIOPOLOKOMPAS má obvykle pevný rám s rovinou kolmo na podélnou osu letadla. Ukazuje, zda zaměřený vysílač na zemi je vpravo nebo vlevo.

REGULAČNÍ VENTIL PODTLAKU je ventil, zařazený do přívodního vzduchového potrubí pohonu setrvačkových přístrojů (zátáčkoměr, umělý horizont), který udržuje přívodní tlak do přístroje konstantní, což je důležité pro dodržení předepsaných otáček setrvačnicku.

ROBINSONŮV KŘÍŽ je miskový kříž, který je snímacím elementem anemometru, tj. přístroje pro měření síly větru. Z počtu otáček miskového kříže se určuje rychlost větru.

ROTAMETR je druh spotřeboměru (přístroje měřícího spotřebu paliva motoru), sestávající z kuželové skleněné trubičky, v níž je plovák. Plovák je vždy v takové poloze (výšce), jaká odpovídá určitému průtočnému množství paliva, tj. určité spotřebě paliva (princip obdobný s principem kuličkového variometru).

* **RYCHLOMĚR.** Přístroj pro měření rychlosti letadla. Relativní rychloměr měří rychlost letadla vzhledem ke vzduchu, absolutní rychloměr měří rychlost letadla vzhledem k zemi. (Kapitola 6.)

SELSYN je element dálkového elektrického přenosu úhlových výchylek určitého orgánu na ukazatel. Vysílač i přijímač jsou tvořeny zcela shodnými jednotkami, napájenými střídavým napětím. Při natočení vysílače o určitý úhel (při natočení rotoru vysílače) natočí se o stejný úhel i rotor přijímače. Na rotoru je elektromagnet, napájený přes kroužky a kartáčky.

SEXTANT slouží pro astronomickou navigaci. Měří se jím výška hvězdy, tj. úhel mezi horizontální rovinou a směrem ke známé hvězdě (stálici). Sextantem se nazývá proto, že jeho stupnice má rozsah jedné šestiny kruhu (sex = latinsky šest).

* **SKLONOMĚR ABSOLUTNÍ** = absolutní sklonoměr (= umělý horizont). (Kapitola 10.)

* **SKLONOMĚR RELATIVNÍ PODÉLNÝ.** Za rovnoměrného přímého letu ukazuje podélný sklon letadla. (Kapitola 8.)

* **SKLONOMĚR RELATIVNÍ PŘÍČNÝ.** Za rovnoměrného přímého letu ukazuje příčný sklon letadla. Slouží ke kontrole správnosti zátáčky. (Kapitola 8.)

SPOTŘEBOMĚR. Přístroj, udávající celkovou nebo i okamžitou spotřebu paliva. Základním elementem je obyčejně vrtulka (turbínka) vsazená do palivového potrubí, podle jejíchž otáček se elektricky určuje příslušná spotřeba paliva.

STATOSKOP je velmi jemný výškoměr, který vznikne z variometru tím, že uzavřeme kapiláru. Užívá se ho pro dodržení určité tlakové hladiny (určité výšky letu), kdy ukazuje výškové odchylky od stanovené (nastavené) hladiny.

* **STROBOSKOP** je přístroj, umožňující porovnání dvou různých periodických

dějí a užívá se při laboratorním měření otáček (například otáček vrtule). (Kapitola 13.)

TELEGON je typ selsynu, u kterého je přenos elektrického proudu do cívek elektromagnetu rotoru bezkontaktní.

TEODOLIT BALÓNOVÝ je optický přístroj, který slouží pro sledování (zaměřování) buď balónu radiosondy nebo pilotovacího balónku. Hlavní částí přístroje je dalekohled, kterým balónek sledujeme. Dalekohled je uložen otočně na horizontálním a vertikálním kruhu. Na horizontálním kruhu odečítáme horizontální úhly osy dalekohledu (azimut), na vertikálním kruhu odečítáme výškové úhly osy dalekohledu. Vždy po určité době, nejčastěji po minutě se za stálého sledování balónku teodolitem (dalekohledem) odečítají hodnoty azimutu a výškového úhlu. Z odečtených hodnot se pak vypočítá rychlost a směr větru v různých výškách. Pro výpočet musíme ovšem znát rychlost stoupání balónku, která například u balónu radiosondy je 300 m/min, tj. 5 m/s.

- * **TEPLOMĚR BIMETALICKÝ** měří teplotu z průhybu pásku ze dvou kovů o rozdílné teplotní roztažnosti. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR DILATAČNÍ** měří teplotu z rozdílného protažení dvou součástí z kovů o rozdílné teplotní roztažnosti. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR ELEKTRICKÝ ODPOROVÝ** měří změnu elektrického odporu při změnách teploty. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR HLAV VÁLCŮ** měří teplotu hlav válců motoru. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR CHLADICÍ KAPALINY** měří teplotu chladicí kapaliny u motoru chlazeného kapalinou. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR OLEJE** měří teplotu mazacího oleje motoru. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR PLNĚNÝ KAPALINOU** měří teplotu ze změn tlaku plnicí kapaliny při změnách teploty. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR PLNĚNÝ PLYNEM** měří teplotu ze změn tlaku plnicího plynu při změnách teploty. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR PLNĚNÝ TĚKAVOU KAPALINOU** a jejími parami měří teplotu ze změn tlaku páry plnicí kapaliny při změnách teploty. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR OKOLNÍHO VZDUCHU** měří teplotu vzduchu vně letadla. (Kapitola 13.)
- * **TEPLOMĚR VZDUCHU V KABINĚ** měří teplotu vzduchu v pilotní kabině. (Kapitola 13.)
- * **TERMOELEKTRICKÝ ČLÁNEK** je základní element termoelektrického teploměru. (Kapitola 13.)
- * **TEVAR** = variometr celkové energie = totální variometr. Je to typ variometru pro větřoně, který při nerovnoměrném letu nereaguje na změny výšky, způsobené pohyby výškovým kormidlem. (Kapitola 7.)

TLAKOMĚR BRZD měří tlak v pneumatickém nebo hydraulickém systému brzd podvozkových kol. Přístroj má většinou tři ručičky (pro dvoukolový podvozek), z nichž jedna ukazuje tlak vzduchu v zásobních lahvích a druhá a třetí ručička ukazují tlak v brzdě levého a pravého kola.

TLAKOMĚR DIFERENČNÍ ukazuje rozdíl dvou tlaků, například rozdíl mezi tlakem paliva palivového čerpadla a tlakem dmýchadla.

- * **TLAKOMĚR DMÝCHADLA** = tlakoměr kompresoru motoru. Udává buď tlak směsi (u motorů s karburátorem) nebo tlak vzduchu z dmýchadla (u vstřikovacích motorů). Měrným elementem je tlakoměrná krabice. (Kapitola 13.)
- * **TLAKOMĚR KYSLÍKU** ukazuje tlak kyslíku v zásobních lahvích dýchače. (Kapitola 15.)
- * **TLAKOMĚR OLEJE** ukazuje tlak mazacího oleje motoru. (Kapitola 13.)

- * **TLAKOMĚR PALIVA** ukazuje tlak paliva před vstupem do karburátoru. (Kapitola 13.)

TLAKOMĚR VZDUCHU V PŘETLAKOVÉ KABINĚ měří tlak vzduchu v přetlakové kabině.

- * **UMĚLÝ HORIZONT** = absolutní sklonoměr. (Kapitola 10.)
- * **UKAZATEL DODÁVKY KYSLÍKU** je kontrolní přístroj dýchače s plicní automatikou, kterým kontrolujeme správné dýchání. (Kapitola 15.)

UKAZATEL ÚHLU NÁBĚHU VRTULE. Moderní letadla jsou vybavena stavitelnými vrtulemi. Pokud není nastavování úhlu náběhu vrtule automatické, musí být prováděno pilotem tak, aby úhel náběhu nastavení vrtule byl za každého režimu letu optimální. Pro start malý úhel nastavení, pro let maximální rychlostí velký úhel nastavení apod. Ukazatel úhlu náběhu listů vrtule ukazuje tento úhel nebo jen některou z několika pevně stanovených poloh úhlů nastavení.

- * **VARIOMETR ELEKTRICKÝ.** Moderní typ variometru, který měří elektricky rychlost proudu v kapiláře normálního variometru. (Kapitola 7.)
- * **VARIOMETR CELKOVÉ ENERGIE** = Tevar.
- * **VARIOMETR KLAPKOVÝ** měří s malým zpožděním údaje stoupání nebo klesání letadla tím, že klapka ve válcové komoře se změnami tlaků vychyluje. (Kapitola 7.)
- * **VARIOMETR KULIČKOVÝ.** Variometr, u kterého se velikost stoupání nebo klesání letadla udává polohou zelené nebo červené kuličky, které se pohybují v kuželových trubičkách. (Kapitola 7.)
- * **VARIOMETR S TLAKOMĚRNÝMI KRABICEMI.** Změna tlaku vzduchu při stoupání nebo klesání vyvolá deformaci tlakoměrné krabice, která se přenáší na ručičku. (Kapitola 7.)
- * **VENTURIHO TRUBICE.** Snímací element relativního rychloměru. (Kapitola 6.)

VOLIČ KURSU je část ukazatele směrového setrvačníku nebo dálkového kompasu, který nám slouží pro nastavení zvoleného kursu.

- * **VÝŠKOMĚR AKUSTICKÝ.** Dnes již nepoužívaný typ výškoměru, který měří výšku letadla nad terénem z doby mezi vysláním a přijetím akustického signálu, vyslaného k zemi. (Kapitola 4.)
- * **VÝŠKOMĚR BAROMETRICKÝ.** Nejužívanější typ výškoměru, který měří barometrický tlak, jenž je měřítkem výšky. (Kapitola 4.)
- * **VÝŠKOMĚR OPTICKÝ** měří výšku optickým sledováním terénu. Užívá se ho jen ve speciálních případech. (Kapitola 4.)

VÝŠKOMĚR RADAROVÝ určuje výšku sledováním povrchu Země radarem. Je to tedy výškoměr relativní.

VÝŠKOMĚR RÁDIOVÝ = radiovýškoměr. Měří relativní výšku z doby návratu vyslaného rádiového signálu k zemi.

ZAMĚŘOVACÍ KOTOUČ je přesný kompas (busola) ve spojení s kruhem, děleným ve stupních kompasové růžice. Slouží k přesnému určování směru kompasové růžice při kompenzování kompasu tam, kde není k dispozici kompenzační kruh.

- * **ZATÁČKOMĚR ELEKTRICKÝ.** Přístroj měří úhlovou rychlost letadla kolem kolmé osy. Setrvačník přístroje se roztáčí elektricky. (Kapitola 9.)
- * **ZATÁČKOMĚR PNEUMATICKÝ.** Přístroj, měřící úhlovou rychlost letadla kolem kolmé osy. Setrvačník se roztáčí pneumaticky. (Kapitola 9.)

18. POUŽITÁ LITERATURA

1. *Bauer – Brůha – Jaňour*: Základy proudění, Praha 1950. Vědeckotechnické nakladatelství, Letecký průvodce 2.
 2. *Duda*: Letecké přístroje 1. díl, Česká matice technická, Praha 1947.
 3. *Duda*: Letecké přístroje 2. díl, Vědeckotechnické nakladatelství, Praha 1949.
 4. *Duda*: Letecké přístroje 1. díl, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1956.
 5. *Duda*: Letecké přístroje 2. díl, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1956.
 6. *Duda*: Letecké přístroje 3. díl, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1957.
 7. *Duda*: Automatické řízení letadel, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1955.
 8. *Duda*: Výšková výstroj letadel, Naše vojsko, Praha 1958.
 9. *Góra*: Pilotáž bez widoczności, Wydawnictwo Ligi Lotniczej, Warszawa 1952.
 10. *Hajn*: Přehled přesné mechaniky, Práce – Vydavatelstvo ROH, Praha 1956.
 11. *Horák*: Praktická fyzika, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1958.
 12. *Hošek*: Aerodynamika vysokých rychlostí, Naše vojsko, Praha 1949.
 13. *Humen*: Plachtařství (překlad inž. Němce a Zedníka), Naše vojsko, Praha 1950.
 14. *Kincl*: Světové míry a váhy, Průmyslové vydavatelství, Praha 1951.
 15. *Kříž*: Plachtění, Typie Brno, 1947.
 16. *Lipski*: Lotnicza aparatura tlenowa, Wydawnictwo komunikacyjne, Warszawa 1958.
 17. *Nachtikal*: Technická fyzika, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1952.
 18. *Sena*: Fyzikální jednotky (překlad V. Oliberiusové a Dr. Šedivého), 3. vydání, Nakladatelství ČSAV, Praha 1953.
 19. *Smolař*: Letecké přístroje, Spolek inženýrů letectví za podpory MNO, Praha 1937.
 20. *Vlasák*: Příručka pro sportovní letce, Praha 1948.
 21. *Wild*: Radiokompas, Naše vojsko, Praha 1955.
 22. *Zacharias a Erich Otto*: Gerätewartung, 2. vydání, Berlin 1940.
 23. *Zelený*: Příručka letecké navigace, Práce – Vydavatelstvo ROH, Praha 1950.
- Časopisy*: Aeroplane, Civilní letectví, Flight, Gliding, Interavia, Křídla vlasti, Letecké noviny, Letecký obzor, Letectví, O.S.T.I.V., publikace III, 1954, Rozlet, Sailplane and Gliding, Schweizer Aero-Revue, Skrzydlata Polska, Zpravodaj VZLÚ.
- Prospekty firem*: Klevin, Peravia, Nautus S. A. „Avia“.

OBSAH

1. ÚVOD	5
2. ROZDĚLENÍ LETECKÝCH PŘÍSTROJŮ	7
2.1. Požadavky kladené na letecké přístroje	7
2.2. Rozdělení přístrojů	9
3. ZÁKLADNÍ JEDNOTKY. MEZINÁRODNÍ STANDARDNÍ ATMOSFÉRA.	11
3.1. Základní jednotky	11
3.2. Mezinárodní standardní atmosféra	19
4. VÝŠKOMĚRY	23
5. BAROGRAFY	36
6. RYCHLOMĚRY	49
7. VARIOMETRY	70
7.1. Variometr s tlakoměrnými krabicemi.	70
7.2. Klapkový variometr	73
7.3. Variometr celkové energie (Tevar)	76
7.4. Kuličkový variometr	86
7.5. Elektrický variometr.	88
8. RELATIVNÍ SKLONOMĚRY	90
8.1. Podélný relativní sklonoměr	90
8.2. Příčný relativní sklonoměr	92
9. ZATAČKOMĚRY	97
10. ABSOLUTNÍ SKLONOMĚRY.	113
11. KOMPASY	131
12. SMĚROVÉ SETRVAČNÍKY.	147
13. PŘÍSTROJE PRO KONTROLU CHODU MOTORU	156
13.1. Otáčkoměry	156
13.2. Tlakoměry	161
13.3. Teploměry	165
13.4. Palivoměry	171

14. PŘÍSTROJE PRO KONTROLU DRAKU	177
15. DÝCHAČE	182
15.1. Znalosti související s použitím dýchačů	182
15.2. Výšková výstroj letadel	188
16. PALUBNÍ DESKA	201
17. PŘEHLED PŘÍSTROJŮ	209
18. POUŽITÁ LITERATURA.	216

INŽ. JIŘÍ TŮMA

LETECKÉ PALUBNÍ PŘÍSTROJE

Vydalo Naše vojsko, nakladatelství, n. p. v Praze, jako svou 2132. publikaci. Obálku navrhl dr Karel Helmich. Odpovědný redaktor Jiří Muk. Technická redaktorka Blanka Jirásková.

Ze sazby Monotype písmem Plantin vytiskla Polygrafie 1, národní podnik v Praze. Formát papíru 86 × 112. Dílo obsahuje 12,08 autor-
ských archů a 16,56 vydavatelských archů. K tisku 18. 2. 1960.
Náklad 3.000 výtisků. 05/112. Vydání I. Daň 5 %. Cena brož.
výtisku 11,40 Kčs, váz. výtisku 14,80 Kčs. 56/III-5. D-603045.