



# RAKETOVÉ

radíme • informujeme • navrhujeme

# MODELÝ

Stavba  
modelů raket

Rampy

Raketové motory

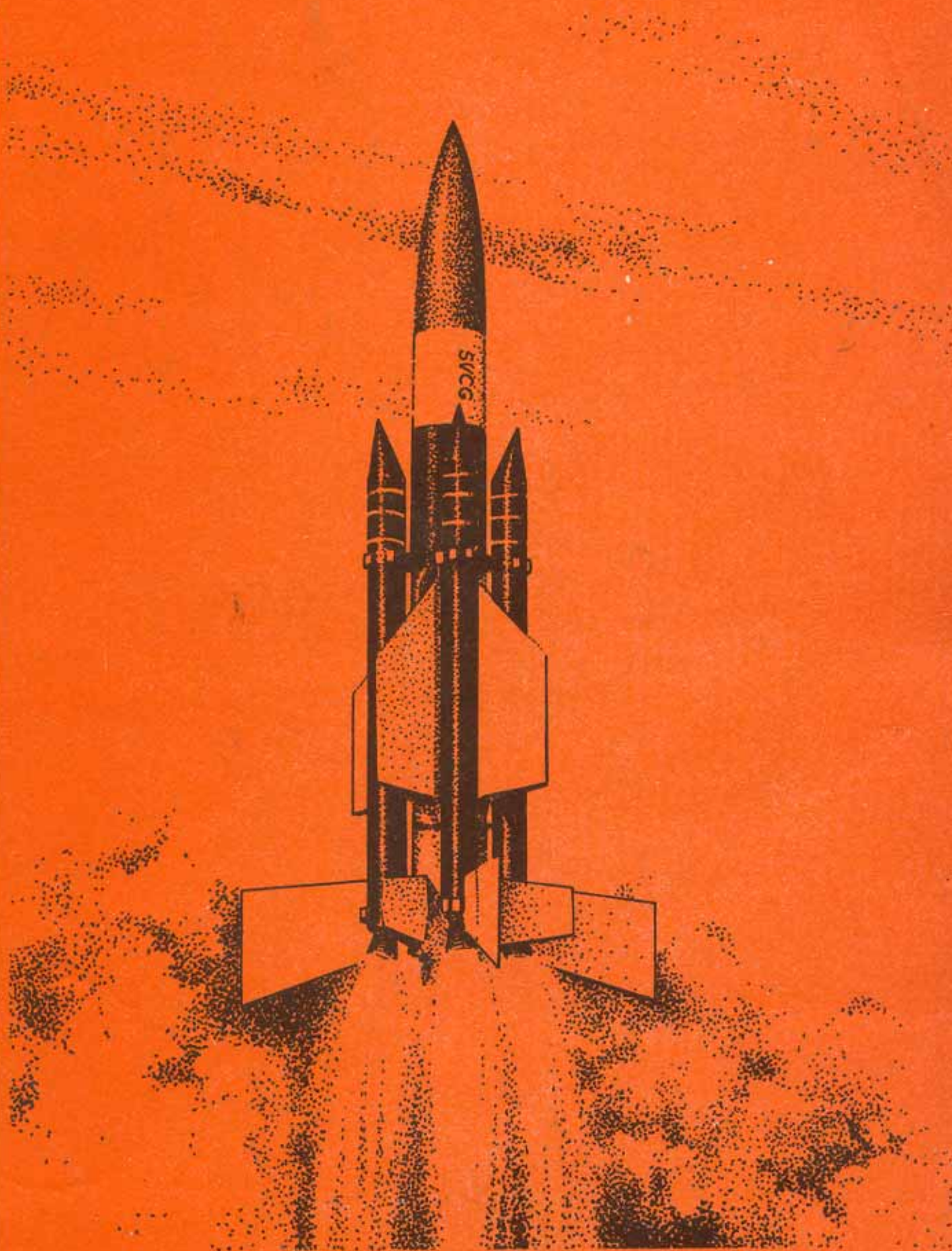
Trochu teorie

Měření výšek

Přehled  
soutěžních tříd

16 plánek  
modelů raket

1



PODNIK  
ÚV  
SVAZARMU

**Modela**





SVAZ  
PRO SPOLUPRÁCI  
S ARMÁDOU



# RAKETOVÉ MODELÝ



NEŽ

ZAČNEME ...

„...pět, čtyři, tři, dva, jedna – start! Dunění raketových motorů připomíná zemětřesení. Z kouře a plamenů se zvedá majestátně mohutná raketa. Jako by se jí na cestu do kosmu nechtělo. Jen pomalu a neochotně opouští odpalovací rampu.“ ...Kolik takových startů jsme již viděli v kině nebo v televizi, ale přesto v nás start kosmické rakety vyvolá vždy vzrušení. Rakety mají před sebou perspektivu stát se běžným dopravním prostředkem tak jako auto, železnice, loď či letadlo. Není proto divu, že i naše mládež projevuje stále větší zájem o tuto novou moderní a atraktivní techniku dneška.

Jedním z prostředků jak přiblížit mládeži skutečnou raketovou techniku, je raketové modelářství, jehož prostřednictvím lze mládež orientovat v řadě oblastí dnešní rozvinuté socialistické společnosti a vytvářet tak předpoklady pro její další rozvíjení.

Počátky historie raketového modelářství jsou v nedávné minulosti. S vývojem raketové techniky ve světě začali též modeláři stavět modely raket. Samozřejmě že ve státech, kde byla skutečná raketová technika. U nás začal vývoj raketových motorů a modelů v roce 1958, kdy F. Rumler ve spolupráci s redakcí časopisu *Letecký modelář* vyvíjel raketový motor, který se měl vyrovnat zahraničním motorům Jetex.

V letech 1959–60 byly vozejně předváděny první modely s motorky SYNJET a v roce 1960 byla vytvořena modelářská sekce ústřední rady modelářství Svazarmu ČSSR. Vývoj motorů byl stále zlepšován a vyvíjely se stále lepší a výkonnější modely. V roce 1963 se uskutečnila první soutěž raketových modelů s motorky SYNJET, proběhly první kurzy instruktorů a byly vydány první plánky v časopise *Letecký modelář*. V březnu 1965 byla v Dubnici nad Váhom zahájena sériová výroba motorků ADAST a již v říjnu byly uvolněny do běžného prodeje. Tímto rozhodnutím začal rozvoj tohoto modelářského odvětví. Vývoj motorů dosáhl takové kvality, že naše motory mohou konkurovat světovým výrobcům a motory

vyráběné skupinou modelářů při RMK Dubnica nad Váhom jsou nejlepší na světě. Důkazem toho jsou dosažené světové rekordy ve výškách i trvání letu a výsledky dosažené na mistrovství světa a Evropy, kde naši modeláři získali řadu prvenství.

Výsledky na mezinárodních soutěžích nejsou to hlavní, co sleduje Svazarm při výchově mládeže. V kroužcích Svazarmu a v pionýrských skupinách je široká základna žáků, pro které jsou pořádány soutěže od okresních přeborů až po přebory ČSR a SSR. Samostatné soutěže mají armádní modeláři, kteří mají velmi dobré podmínky pro rozvoj této odbornosti. V průběhu roku je uspořádána celá řada veřejných a postupových soutěží, jejichž přehled je u všech modelářských klubů Svazarmu.

Zkušenosti získané našimi předními modeláři za celou historii raketového modelářství chceme nabídnout nejen těm, kteří chtějí začínat, ale i pokročilejším, uvádět je do stavby a říkat „jak na to“, případně odpovědět na různé detaily při zdokonalování stavby modelů raket.

Ze zkušeností víme, že sebelepší literatura neposkytne informace v celém rozsahu, jak by si každý přál. Ty lze získat jediné výměnou zkušeností v klubech Svazarmu a ti mladší účastí v kroužcích raketových modelářů při domech pionýrů a mládeže nebo v kroužcích Svazarmu.

Naším záměrem je přinést postupně v jednotlivých číslech návody, rady, informace a plánky od nejjednodušších modelů raket a raketoplánů až po makety skutečných raket.

Věříme, že naše publikace splní svůj účel a přispěje k rozšíření zájmů mládeže o raketové modelářství, ke zlepšení polytechnické výchovy mládeže na školách i k plnění úkolů Jednotného systému branné výchovy obyvatelstva.

Ústřední rada modelářství  
Svazarmu ČSSR  
odbor raketových modelářů

a  
Modela  
podnik ÚV Svazarmu



# 1. NA PRVNÍM MÍSTĚ BEZPEČNOST

V řadě zemí je raketové modelářství z bezpečnostních důvodů zakázáno a u nás muselo o svou existenci tvrdě bojovat. Není to tajemství a v různých zprávách z novin se dovídáme o počtu těžkých zranění při neopatrné manipulaci s výbušninami. Nerozumné děti, ale mnohdy i technicky vzdělaní mladí lidé stále podceňují nebezpečí, kterým hrozí amatérská výroba raketových motorů.

Proto je nutné hned v úvodu – než něco začneme vymýšlet – připomenout, že amatérsky není možné raketové motory vyrábět, ani je jakkoli upravovat. Sériově vyrobený motorek je navržen a mnohokrát odzkoušen tak, aby nemohl ublížit a přitom je schopný podat maximální výkon. Bohatý výběr raketových motorů vyráběných v Dubnici nad Váhom, se kterým se později seznámíme, vyhoví pro všechny kategorie modelů raket.

V každé práci, sportu i zábavě platí určitá pravidla, jimiž se musí řídit všichni, kdo chtějí úspěšně pracovat, sportovat i bavit se. Nejinak je tomu i u raketového modelářství, odbornosti, u které je těžko říci, kde končí model a kde začíná opravdová raketa, přihlídneme-li k rychlostem a výškám, které dosahují.

Neuškodí proto, naučíme-li se i my naše „bezpečnostní desatero“ hned na začátku a budeme-li se k němu vracet tak dlouho, dokud nám nepřejde doslova „do krve“. Bezpečná práce je naším prvořadým a nejdůležitějším úkolem. Kdo by to nechtěl respektovat, nebude moci s námi spolupracovat, byť by byly jeho odborné a praktické znalosti sebevětší.

## 1.1. Bezpečnostní desatero

1. Budu vždy dodržovat všechny bezpečnostní podmínky a předpisy; budu dbát na maximální bezpečnost při práci a nebudu dělat nic, co by ohrozilo mne nebo ostatní.
2. Nebudu dělat pokusy ani vyrábět vlastní raketové motory, náplně nebo zpoždovače. Budu používat pouze vyzkoušené, schválené a sériově vyráběné motorky a tuhé pohonné hmoty (TPH).
3. Všechny raketové motory a tuhé pohonné hmoty budu uchovávat podle předpisů a chránit je před teplem, vlhkem a nárazem.
4. K výrobě hlavních částí modelů nebudu používat kovové materiály a do modelů nebudu umísťovat nebezpečné předměty nebo pyrotechnickou nálož.
5. U všech modelů budu používat zařízení pro bezpečný návrat modelů na zem.
6. Modely raket budu vypouštět vždy pod dohledem osoby starší 18 let, na otevřených prostorech bez domů, stromů a vysokého elektrického vedení.

7. Pro start svých modelů budu vždy používat dálkový elektrický odpalovací systém a elektrický palník budu instalovat až těsně před startem (výjimkou jsou motorky typu S1, S2 a S4).
8. Modely raket budu startovat pod úhlem nejméně 60° od horizontální roviny.
9. Modely raket nebudu odpalovat proti jakýmkoliv vzdušným nebo pozemním cílům.
10. Nebudu startovat modely za silně větrného počasí nebo při snížené viditelnosti.

## 2. MŮŽEME S MODELY RAKET SOUTĚŽIT?

Samozřejmě, že ano. Současný systém organizace soutěží dává možnost srovnávat a projevit svou technickou tvůrčí činnost ve spojení se sportovním výkonem ve všech věkových kategoriích. Ústřední rada modelářství Svazarmu vydala „Soutěžní a stavební pravidla pro raketové modeláře“, platná od 1.1.1978, která obsahují „Mezinárodní pravidla FAI pro kosmické modely“ a „Národní pravidla pro kosmické modely“. Podle charakteru lze rozdělit druhy soutěží na dva základní typy: soutěže masového charakteru a soutěže výkonnostního a vrcholového charakteru.

### 2.1. Soutěže masového charakteru

Organizováním těchto soutěží se realizuje především výchovné poslání branně sportovních a branně technických soutěží ve Svazarmu a ostatních složkách NF. Tvoří ji zejména:

#### 2.1.1. Náborové soutěže

Pořádají se na stupni ZO Svazarmu, resp. města, jako veřejně přístupné nepostupové akce i pro nečleny Svazarmu s cílem propagovat modelářskou činnost Svazarmu a rozšířit členskou základnu.

#### 2.1.2. Žákovské soutěže

Pořádají se ve spolupráci Svazarmu a PO SSM a jsou shodné se soutěžním systémem „Soutěže technické tvořivosti pionýrů“ (STTP). Tyto soutěže jsou dvojího druhu:

- a) přehlídky výrobků STTP, kde je hodnocen model porotou, záleží zde více na zpracování modelu podle předlohy, výkresu nebo vlastní fantazie. Přehlídka má postupová kola a žáci se mohou přihlásit k soutěži na všech ODPaM. Vyvrcholením je celostátní přehlídka STTP.



b) STTP modelářské odbornosti, které se konají ve spolupráci se Svazarmem. Platí zde „Soutěžní a stavební pravidla pro raketové modeláře“ platné od 1.1.1978 s některými úpravami. Soutěž má postupová kola, přihlásit se lze na všech ODPaM a vyvrcholením je přebor ČSR a SSR žáků.

Soutěži se v těchto kategoriích:

- S3A – trvání letu na padáku;
- S4A – trvání klouzavého letu;
- S6A – trvání letu se streamerem.

### 2.1.3. Propagační soutěže

Pořádají se při příležitosti různých významných výročí a oslav organizací Národní fronty.

## 2.2. Soutěže výkonnostního a vrcholového charakteru

Tyto soutěže se zaměřují zejména na zvyšování úrovně sportovní výkonnosti a tvoří je: mistrovské soutěže, nemistrovské soutěže a mezinárodní soutěže. Pořadatelé jsou ZO Svazarmu.

### 2.2.1. Mistrovské soutěže

Představují postupové soutěže s omezenou účastí, organizované na stupni okresu, kraje, republiky a ČSSR. Tyto soutěže jsou organizovány jako soutěže jednotlivců, případně družstev. Vypisují se podle věkových kategorií takto:

- a) mistrovství ČSSR, je nejvyšší mistrovskou soutěží jednotlivců o prvenství ČSSR v kategorii seniorů a juniorů. Vítězové jednotlivých kategorií získávají titul „Mistr ČSSR“. Ústřední rada modelářství Svazarmu vypisuje mistrovství ČSSR raketových modelářů každé dva roky v návaznosti na mistrovství světa;
- b) přebor republiky (ČSR, SSR);
- c) krajský přebor;
- d) okresní přebor;
- e) místní přebor.

Soutěže pod bodem b) až e) jsou výběrovým typem soutěží v oblasti výkonnostního sportu a součástí postupu do vyšších soutěží. Tyto soutěže vypisují každoročně příslušné modelářské rady v jednotlivých věkových kategoriích Svazarmu.

### 2.2.2. Nemistrovské soutěže

Představují zpravidla veřejně přístupné soutěže s otevřenou účastí jednotlivců, případně družstev. Účast může být diferencována výkonem, věkem apod. Jsou zpravidla pořádány ZO Svazarmu – modelářskými kluby.

- a) memoriálové, jsou organizovány k rozvíjení revolučních tradic dělnického hnutí, ČSLA a při příležitosti významných politických výročí a událostí;
- b) pohárové, jsou organizovány obdobně jako memoriálové;
- c) veřejné, jsou zaměřeny na zvyšování úrovně sportovní výkonnosti a především na masový rozvoj modelářství, zejména mezi mládeží;

- d) kontrolní, jsou organizovány za účelem ověření a kontroly výkonnosti jednotlivců k užšímu výběru reprezentantů apod. Nenahrazují mistrovské soutěže, jsou zpravidla součástí plánu přípravy na některé akce.

### 2.2.3. Mezinárodní soutěže

Představují vrcholné modelářské soutěže v ČSSR s mezinárodní účastí nebo účastí sportovců ČSSR na podobných soutěžích v zahraničí. Jsou centrálně plánovány a řízeny ÚV Svazarmu.

Pro každý rok je zpracován a vydáván Českou ústřední radou modelářství Svazarmu a Slovenskou ústřednou radou modelářstva Zväzarmu „Kalendář modelářských soutěží“, který obsahuje přehledně všechny druhy soutěží ve všech odbornostech modelářství, s udáním soutěže, termínu, kam poslat žádost o propozice a udání kategorie, ve které se soutěží.

## 3. PŘEHLED SOUTĚŽNÍCH TŘÍD A KATEGORIÍ

Každá soutěžní kategorie má svá specifická pravidla, se kterými se může každý člen Svazarmu seznámit v klubu ZO. Pro ty, kteří začínají a chtějí vědět opravdu jen to nejzákladnější, těm patří další stát.

### 3.1. Výškové soutěže – třída S1

Výškové soutěže se dělí na kategorie podle maximální přípustné hmotnosti modelu při vypuštění a podle největšího přípustného celkového impulsu motoru (nebo motorů) pohánějícího model. Může se použít libovolný počet libovolně uspořádaných motorů za předpokladu, že součet celkových impulsů jednotlivých motorů nepřekročí nejvyšší přípustný celkový impuls pro příslušnou soutěžní kategorii. Návrat modelu na zem musí být zajištěn bezpečným návratným zařízením.

Výška je měřena minimálně dvěma měřicími zařízeními a podle vypočtené výšky je stanoveno pořadí v soutěži.

Pro výškové soutěže byly stanoveny tyto kategorie:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)
S1A	0,00 – 5,00	60
S1B	5,01 – 10,00	120
S1C	10,01 – 40,00	240
S1D	40,01 – 80,00	500



### 3.2. Soutěž se zátěží = třída S2

Soutěž v této třídě je obdobná třídě S1 s tím rozdílem, že model nese standardní zátěž FAI, jejíž hmotnost je minimálně 28 g a průměr plovného válečku musí být 19±0,1 mm. Pro soutěž raketových modelů se standardní zátěží FAI jsou stanoveny tyto kategorie:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	počet zátěží
S2 A jednot.	0,00 - 10,00	90	1
S2 B dvojitá	10,01 - 40,00	180	2
S2 C otevřená	40,01 - 80,00	500	4

### 3.3. Soutěž v trvání letu na padáku = třída S3

Soutěž v této třídě je přípustná modelům jednostupňovým (poháněným jedním motorem), vybaveným pro návrat na zem jedním nebo více padáky, které mohou být během soutěže měněny. Soutěžníci má tři starty, jejichž čas je měřen od zvednutí modelu z rampy po přistání.

Dva časoměřiči měří čas do stanoveného maxima a jejich průměr časů udává čas výsledný. Součet naměřených časů všech tří startů určuje vítěze soutěže.

Soutěž v trvání letu na padáku má tyto kategorie a maximální měřené časy:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	max. čas (s)
S3 A	0,00 - 2,50	100	240
S3 B	2,51 - 5,00	100	360
S3 C	5,01 - 10,00	200	480
S3 D	10,01 - 20,00	500	600

### 3.4. Soutěž raketoplánů v trvání letu = třída S4

Při soutěži se hodnotí model s nejdelší dobou trvání letu se svislým nebo téměř svislým balistickým startem a s návratem stabilním klouzavým letem. Čas se měří od okamžiku prvního pohybu na vypouštěcím zařízení do okamžiku, kdy se měřená klouzáková část modelu dotkne země. Motor s konlejnem se může vrátit samostatně na zem s dostatečným návratným zařízením. Model může být řízen rádiem, aby let probíhal v blízkosti startoviště.

Soutěž raketoplánů má tyto kategorie a maximální měřené časy:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	max. čas (s)
S4 A	0,00 - 2,50	60	120
S4 B	2,51 - 5,00	90	180
S4 C	5,01 - 10,00	120	240
S4 D	10,01 - 40,00	240	300
S4 F	40,01 - 80,00	500	300

### 3.5. Výšková soutěž maket = třída S5

Tato třída zahrnuje výškové soutěže maket a je kombinací výškové soutěže (třídy S1) a soutěže maket (třídy S7). Podstatou soutěže je dosažení co největší výšky letu s maketou rakety. Soutěž probíhá ve dvou fázích - nejdříve je hodnocen bodovací model. Hodnotí se shodnost modelu se skutečnou raketou, zpracování a přesnost. Získané body se potom přičítají k největší oficiální dosažené výšce. Zvítězí model, který dosáhne největšího celkového počtu bodů, vyplývajících ze součtu bodů za zpracování modelu a dosažené výšky v metrech.

Výšková soutěž maket má tyto kategorie:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)
S5 A	0,00 - 2,50	60
S5 B	2,51 - 5,00	90
S5 C	5,01 - 10,00	120
S5 D	10,01 - 40,00	240
S5 F	40,01 - 80,00	500

### 3.6. Soutěž v trvání letu na streameru = třída S6

Tato soutěž je svými podmínkami stejná jako třída S3 s tím rozdílem, že místo padáku k návratu modelu na zem, je použito streameru (brzdícího proužku). Soutěž je přístupná pro jednostupňové modely, poháněné jedním motorem, obsahující jeden streamer pro návrat. Streamer musí být jediný kus z ohebného materiálu, například z látky, papíru nebo plastické fólie s minimálním poměrem délky k šířce 10:1. Na jeho užším konci je pevná opora o maximální průřez 2x2 mm, spolu se smyčkou je upevněna jedinou šňůrou k modelu. Streamer se musí v průběhu letu rozvinout. Soutěžníci smí měnit streamer v modelu kdykoliv během soutěže.

Pro soutěže v trvání letu na streameru byly stanoveny tyto kategorie a maximální měřené doby letu:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	max. čas (s)
S6 A	0,00 - 2,50	100	120
S6 B	2,51 - 5,00	100	180
S6 C	5,01 - 10,00	200	240
S6 D	10,01 - 20,00	500	300

### 3.7. Soutěž maket = třída S7

Soutěž maket má jen jednu kategorii a je určena pro létající modely raket, které jsou věrnými zmenšeninami soudobých nebo historických řízených střel, raket nebo vesmírných lodí. Mohou být vícestupňové (max. 3 stupně funkční) a největší povolená hmotnost je 500 g a celkový impuls motorů nesmí přesáhnout 80,00 Ns. Soutěž probíhá na 2 částí: 1) statické hodnocení modelu a 2) vlastní start modelu. Ve statickém hodnocení bodováčí hodnotí zpracované podklady, souhlas se vzorem, zpracování a stupeň obtížnosti stavby. V letové charakteristice pak stabilitu letu, případně oddělování stup-



ňů, návrat na zem. Model musí předvést alespoň jeden stabilní let ze dvou možných startů, aby byl zařazen do pořadí v soutěži.

### 3.8. Soutěž v trvání letu raketových kluzáků – třída S8

Soutěž v této třídě je obdobou soutěže ve třídě S4 s tím rozdílem, že se během letu nesmí od modelu oddělit motory nebo kontejnery, a kategorie S8E, S8F musí být řízeny rádiem.

Soutěž v trvání letu raketových kluzáků má tyto kategorie a maximální měřené časy:

kategorie	celkový impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	max. čas (s)
S8A	0,00 – 2,50	60	120
S8B	2,51 – 5,00	90	180
S8C	5,01 – 10,00	120	240
S8D	10,01 – 20,00	240	300
S8E	20,01 – 40,00	300	300
S8F	40,01 – 80,00	500	300

### 3.9. Soutěž maket v trvání letu (třída S5 časová) – národní pravidla

Podmínky soutěže jsou shodné s mezinárodní třídou S5 s tím rozdílem, že místo naměřené výšky je brán v úvahu naměřený čas trvání letu rakety na libovolném zařízení. Tato pravidla byla pozměněna oproti FAI z důvodů nutnosti rozvoje kategorie maket a možnosti soutěžení, protože organizačně zvládnout výškovou soutěž lze jen na vrcholných soutěžích.

Soutěž probíhá na dvě části: 1) statické hodnocení a 2) trvání letu modelu. Body za statické hodnocení se přičítají k dosaženému času v daném startu. Soutěžící má 2 starty, jejichž lepší výsledek se započítává do pořadí v soutěži. Trvání letu se měří nejdéle do maxima, které je u jednotlivých kategorií stanoveno takto:

kategorie	max. impuls (Ns)	max. hmotnost (g)	max. čas (s)
S5A	0,00 – 2,50	60	120
S5B	2,51 – 5,00	90	180
S5C	5,01 – 10,00	120	240
S5D	10,01 – 40,00	240	300
S5F	40,01 – 80,00	500	300

### 3.10. Volně létající modely poháněné raketovým motorem typu S – národní kategorie

Tato kategorie byla rozšířena zvláště v počátcích raketového modelářství, kdy vlastní raketové motory byly ve vývoji. V současné době se tyto motorky „S“ nevyrábějí, ale pro úplnost přehledu platných pravidel je uvádíme.

Volně létající modely (kluzáky) jsou poháněny rake-

tovými motory, jejichž pohonná síla vzniká výtokem plynů jednoduchým způsobem spalovaného pevného paliva. Motor nemá pohyblivé části a palivo nepotřebuje k hoření kyslík z ovzduší. Rozměry, plocha a váha nejsou předepsány, ale zatížení celkové plochy musí být větší než 20 g/dm<sup>2</sup>.

Soutěží se v kategoriích rozdělených:

- a) podle velikosti motoru:
- modely s motorkem S-1
  - modely s motorkem S-2
  - modely s motorkem S-4
- b) podle způsobu stavby:
- soutěžní modely
  - školní modely
  - polomakety
  - zvláštní

O konstrukci motorku „S“ se dočtete později v pojednání o raketových motorech na str. 29. U soutěžních modelů není předepsán způsob stavby ani materiál. Školní modely musí být zhotoveny z tuzemského materiálu. Polomakety jsou modely, které svým tvarem připomínají skutečné proudové letadlo a mají odpovídající a přiměřené vybavení povrchu. Zvláštní modely jsou např. samokřídla, tandemy, kachny, vrtulníky apod.

Soutěžící přihlašuje v každé kategorii nejvýše 2 modely a hodnotí se dosažený součet letových časů v pěti letových kolech s měřením letu do 120 sekund.

## 4. MATERIÁL A NÁŘADÍ

Raketové modelářství používá pro stavbu modelů jen malá množství dosažitelných materiálů, které lze zakoupit poměrně malým nákladem v prodejnách s modelářským materiálem a v papírnictví. Stavba je rychlá, takže každý vidí brzy výsledek své práce. Tím je tento druh modelářství pro děti atraktivní a lze ho dobře využívat k rozvíjení potřebných vlastností, zejména pak k vhodnému politicko-výchovnému působení v kroužcích mládeže.

Aby však stavba modelu nevázla hned na počátku, je dobré vědět, co si budeme muset připravit předem, než se do vlastní stavby pustíme. Nejde jen o plánec, který je na konci tohoto sešitu, ale hlavně: z čeho budeme model stavět a jaké budeme potřebovat nářadí.

### 4.1. Základní materiály

Pro zhotovení modelu rakety je zapotřebí tento ma-



teriál:

- hnědá papírová lepicí páska šíře 25 - 30 mm
- balsa, různé tloušťky podle druhu modelu
- balsový hranolek podle rozměru hlavice (tvrdší na hlavice)
- hliníková fólie tl. 0,2 - 0,3 mm
- lepidlo Epoxy 1200
- lepidlo Kanagom
- čirý nitrolak
- barevný lak - nitroemail Celox
- rezné nitě (obuvnické)
- gumovou nit 2 x 1 mm
- hedvábí (na streamer a padák)
- modelspan (tenký na polepení)
- modelspan (tlustý na streamer)
- plastický padák - výrobek Modela
- bambusová štěpina
- obtisky
- raketový motor RM dle kategorie
- elektrický palník
- toaletní papír skládaný
- zěsyp Sypel
- barvu Signál - fluorescenční

#### 4.2. Pomocný materiál a nářadí

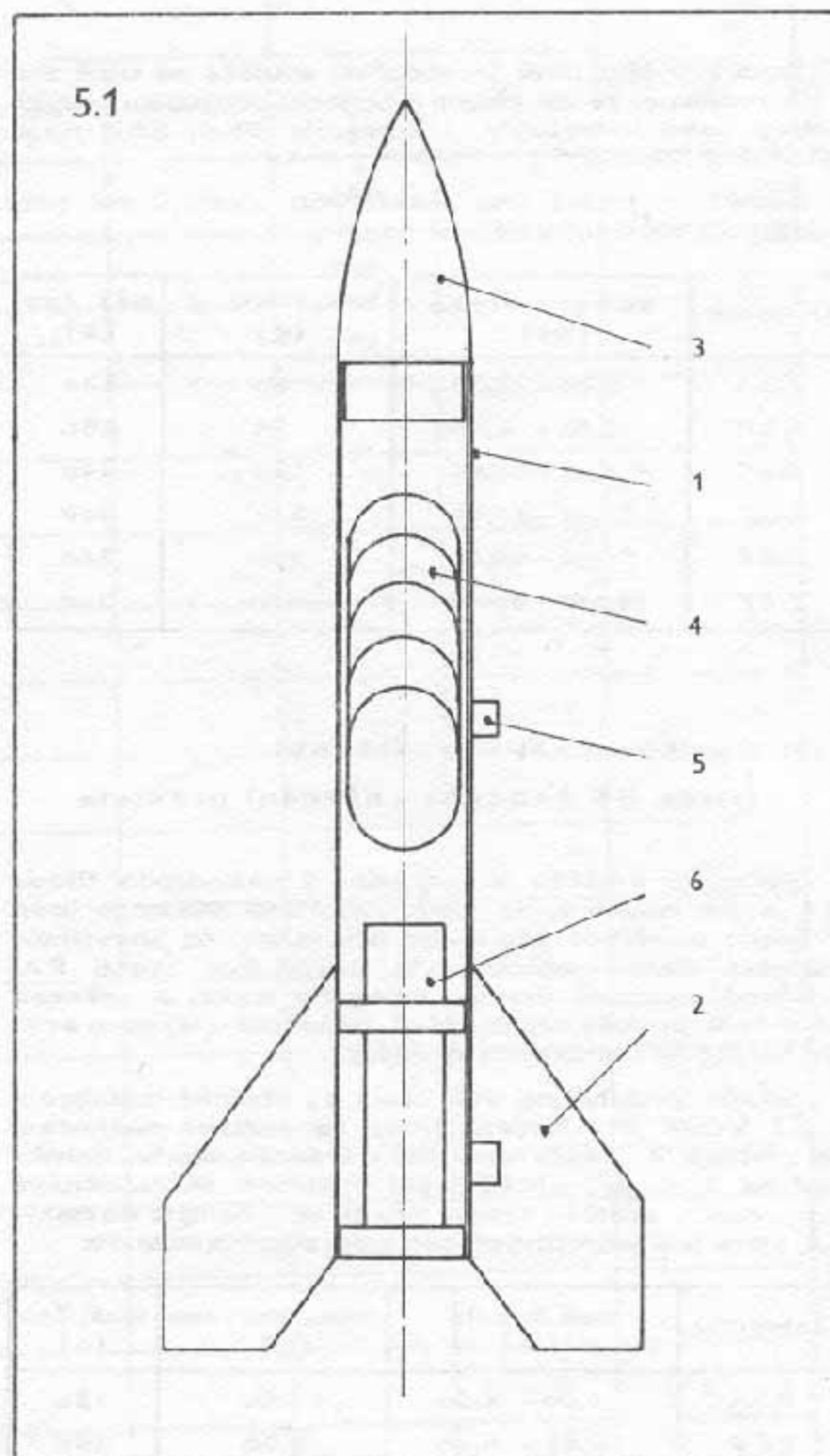
- trn na zhotovení trupu, průměr podle modelu rakety
- ostrý nůž, skalpel
- pravítko, nejlépe ocelové
- dřevěný hranolek s nalepeným brusným papírem (různé zrnitosti)
- štětec
- elektrická vrtačka (soustruh)
- žiletka
- fixírka
- tužka
- špendlíky modelářské - výrobek Modela
- hoblík na balsa
- vrut  $\phi 6 \times 50$
- lešticí pasta (např. Silichrom)
- vata
- flanelový hadr
- odpalovací rampa
- žehlička
- pevný ostrý nůž nebo dláto
- vypouštěcí zařízení
- elektrické odpalování

## 5. STAVBA MODELŮ RAKET

V této části o stavbě modelů raket si povíme co možná nejpodrobněji, jak se jednotlivé díly vyrábějí, jaký materiál a nářadí na ně potřebujeme a vůbec „jak na to“. V předcházejících bodech jste měli možnost srovnání, kolik různých druhů kategorií raketové modelářství obsahuje. Jestliže bychom se věnovali každé kategorii,

v mnoha případech bychom se opakovali. V tomto 1. čísle se budeme věnovat stavbě modelů třídy S1, S2, S3 a S6, které jsou si podobné a rozdíly jsou převážně v provedení detailů a rozměrů.

Abychom vždy věděli, o čem jde, seznámíme se hned na počátku se základními názvy dílů modelu rakety. Na obrázku č. 5.1 je typický jednoduchý model rakety s označením dílů a pojmenováním.



#### 1. Trup

Základní část rakety, která vždy nese ostatní díly. Některé součásti (padák, motory) jsou umístěny uvnitř trupu.

#### 2. Stabilizátory

Jsou umístěny na zadním konci trupu a stabilizují let rakety po opuštění rampy. Mohou však být i další na jiném místě trupu (u maket).

#### 3. Hlavice

Uzavírá trup na přední části. O důležitosti jejího tvaru se dozvíte v dalších bodech.

#### 4. Návratné zařízení

Zajišťuje bezpečné přistání modelu na zem. Obvykle se používá padák nebo streamer (brzdící stuha).



## 5. Vodítka

Umožňují odstartování modelu rakety ze startovací tyčové rampy. „Vedou“ model po rampě než začnou působit stabilizátory, které dále zajišťují stabilní let.

## 6. Motorové lože

Přidrží raketový motor v trupu rakety a přenáší tah motorů do modelu. (Dělá se u větších průměrů modelů).

Nyní tedy začneme stavět jednotlivé díly modelu:

### 5.1. Trup

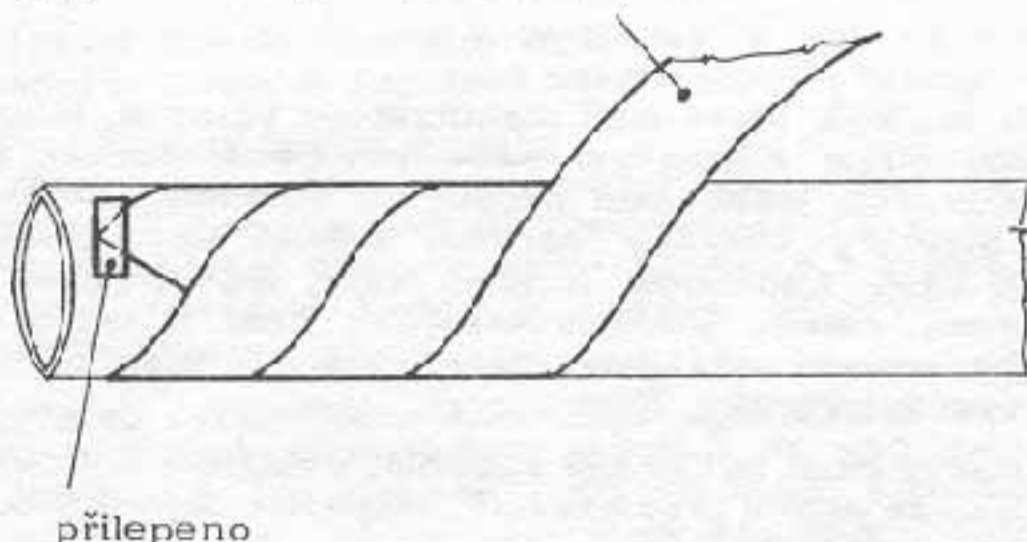
#### 5.1.1. Navinutí trubky

Na zhotovení trupu musíme mít připraven trn o průměru podle plánku, který je zhotoven z hliníkové, ocelové nebo skleněné trubky, může však být i z umělé hmoty nebo dřeva. Podstatné je, aby měl hladký povrch, dokonale kruhový průřez a byl asi o 100 mm delší než bude délka trupu. Na výrobu trupu se používá převážně papírová hnědá lepicí páska šířky 25 – 30 mm.

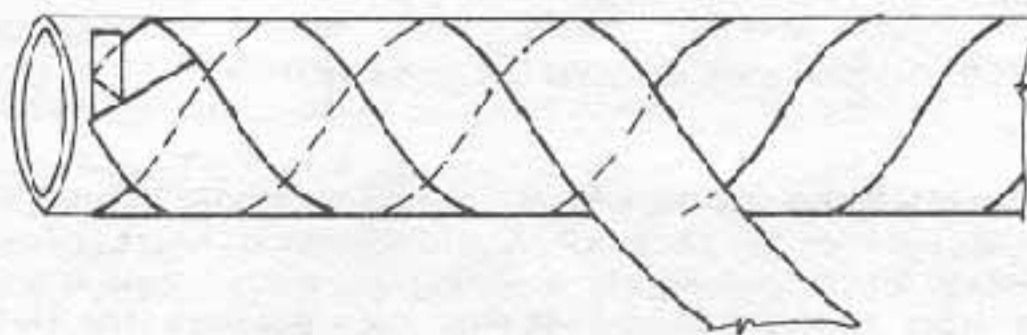
Připravíme si délku pásky o něco delší než bude třeba a to jen zkusmo namotáním závitů po celé délce trnu. U každé šíře pásky je délka jiná! Podle této změřené délky si ušijeme další 3 kusy.

První vrstva se navine na trn lepidlem nahoru. Postupujeme tak, že si u jednoho konce navineme asi 3 závitů pásky tak, aby byl jeden závit těsně u druhého. Připraveným kouskem lepicí pásky přichytíme okraj pásky k trnu, obr. č. 5.2a, a pokračujeme ve vinutí až na druhý

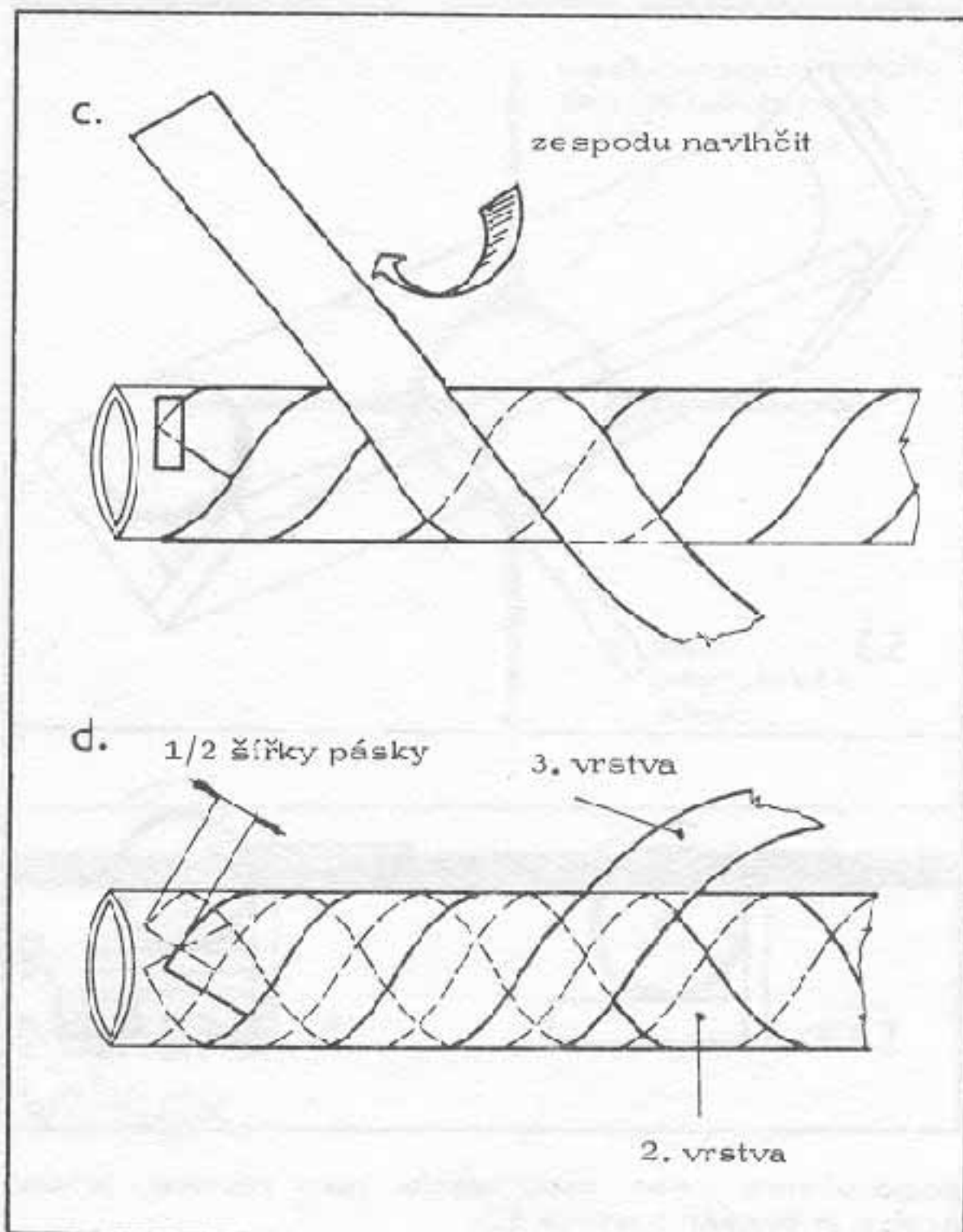
5.2.a. lepicí páska lepem nahoru



b.



konec trnu, kde pásku opět přilepíme. Druhou vrstvu, kterou již dáváme lepidlem k trnu začínáme obdobně, ale křížem přes první. Ještě suchou pásku navineme asi 3 závitů, abychom chytili správný směr a páska se pak lepila jeden závit vedle druhého – obr. č. 5.2b. Přidržíme třetí závit pásky k trnu, okraj uvolníme – obr. č. 5.2c, navlhčíme pásku od třetího závitu k okraji a lehce pásku ravineme – obr. č. 5.2b. Máme tak pevný základ



pro vinutí zbývajících částí, kterou navijeme postupně tak, že si navlhčíme vždy jen asi 150 mm pásky, pomalu otáčíme trnem, přitlačujeme pásku a stále sledujeme, aby šel jeden závit vedle druhého, tak vrstvu dokončíme,

Další vrstvu vždy pokládáme křížem na předchozí a stejným postupem, jen 3. vrstvu posuneme o polovinu šíře pásky oproti první vrstvě – obr. č. 5.2d. Pro urychlení schnutí a zlepšení kvality povrchu je dobré trubku „přežehlít“. Na stůl si dáme starší látku a teplou žehličkou žehlíme – válíme trubku po látce. Trubka se vyhladí a zpevní.

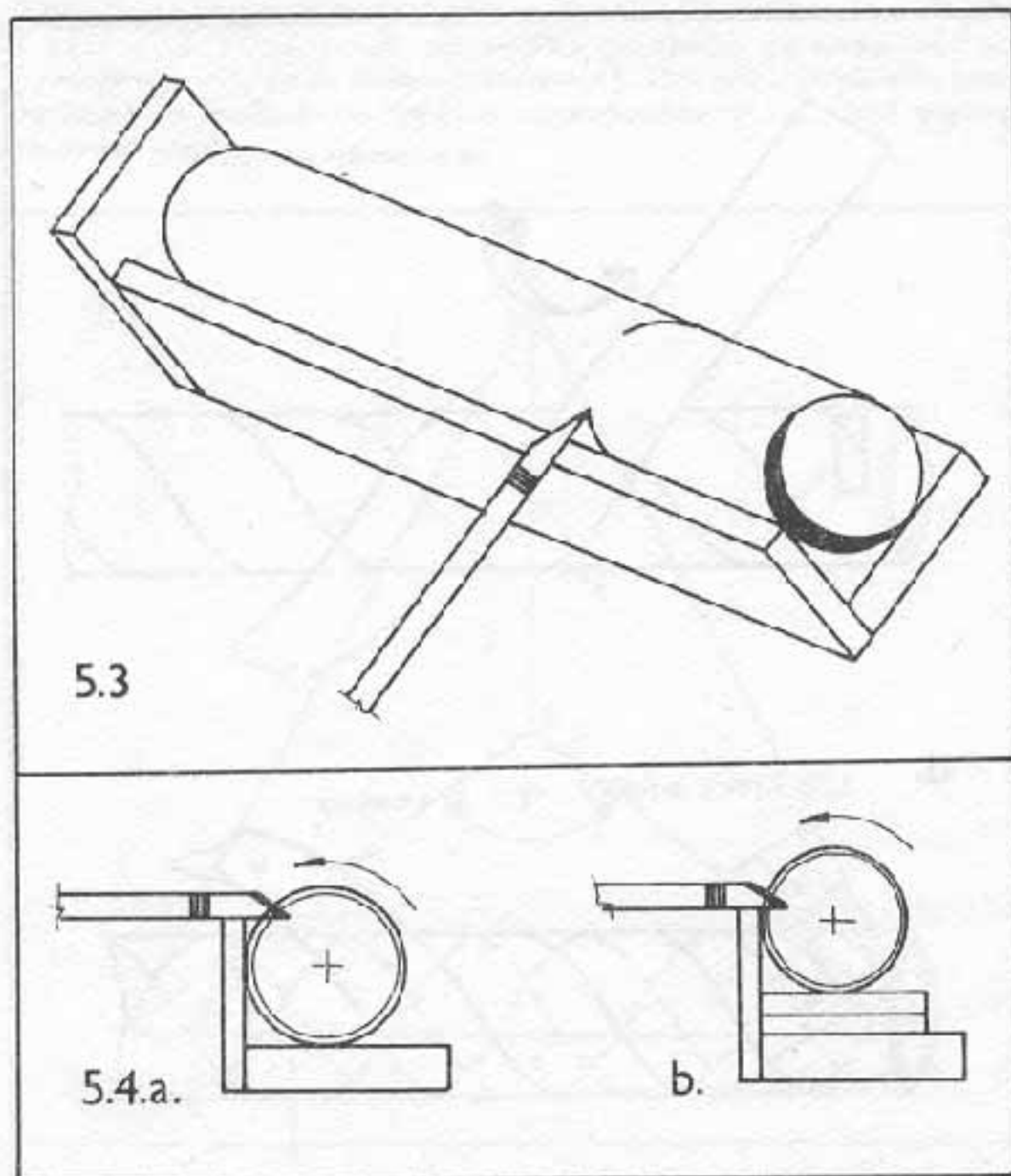
Nyní odřízneme trubku na obou koncích ostrým nožem od trnu tak, aby místa, kde jsme přilepili spodní vrstvu, byla na odříznutých krajích, očistíme trn na okrajích a trubku lehce sejme. Než nám důkladně proschne (asi 1 hodinu) můžeme si navinout další trubky. Po úplném zaschnutí ji přesně odřízneme ostrým nožem na požadovanou délku trupu.

Přesné odříznutí a zakončení trubky dělá potíže i zkušeným modelářům. Odstraní je jednoduchý přípravek, který slepíme z odřezků balsy nebo jiných prkének podle obrázku č. 5.3. Při řezání trubek postupujeme tak, že si nejprve asi 1 cm od dorazového čela zarovnáme trubku. Po odříznutí si naměříme na bočnici přesnou délku trubky a v tomto místě si vypilujeme jemným pilníkem přesný mělký zářez pro opření nože. Trubkou pak opatrně otáčíme, přičemž nůž prořezává přesně spáru – obr. č. 5.4a. Pro snadnější měření délky trubek si můžeme přilepít na bočnici přípravku milimetrový papír nebo přesné papírové měřítko. Při řezání tenkých trubek je zapotřebí přidat na základní prkénko vhodné podložky – obr. č. 5.4b.

Zbytek odříznuté trubky použijeme na slícování s hlaví. Trubku jemným smirkem (hrubostí asi 360) v ruce osmirkujeme šikmými tahy za stálého otáčení (nikdy ne po délce) a nalakujeme 2 vrstvami čirého nitrolaku. Po každém zaschnutí lehce přebrousíme.

Kuželové přechody na trup zhotovujeme s balsy





scustružením nebo kaširováním jako hlavice, jejichž postup je popsán v oddíle 5.3.

#### 5.1.2. Tmelení

Tmelení se provádí tmelem zhotoveným smícháním čirého nitrolaku a zásypu Gypsi na kašičku, kterou lze natírat štětcem v malé vrstvě na trubku. Po zaschnutí tmelu (nejlépe 1 den) se trubka opět přebrousí smirkem, až získáme naprosto hladký povrch bez viditelných hrubostí. Broušení provádíme na trnu.

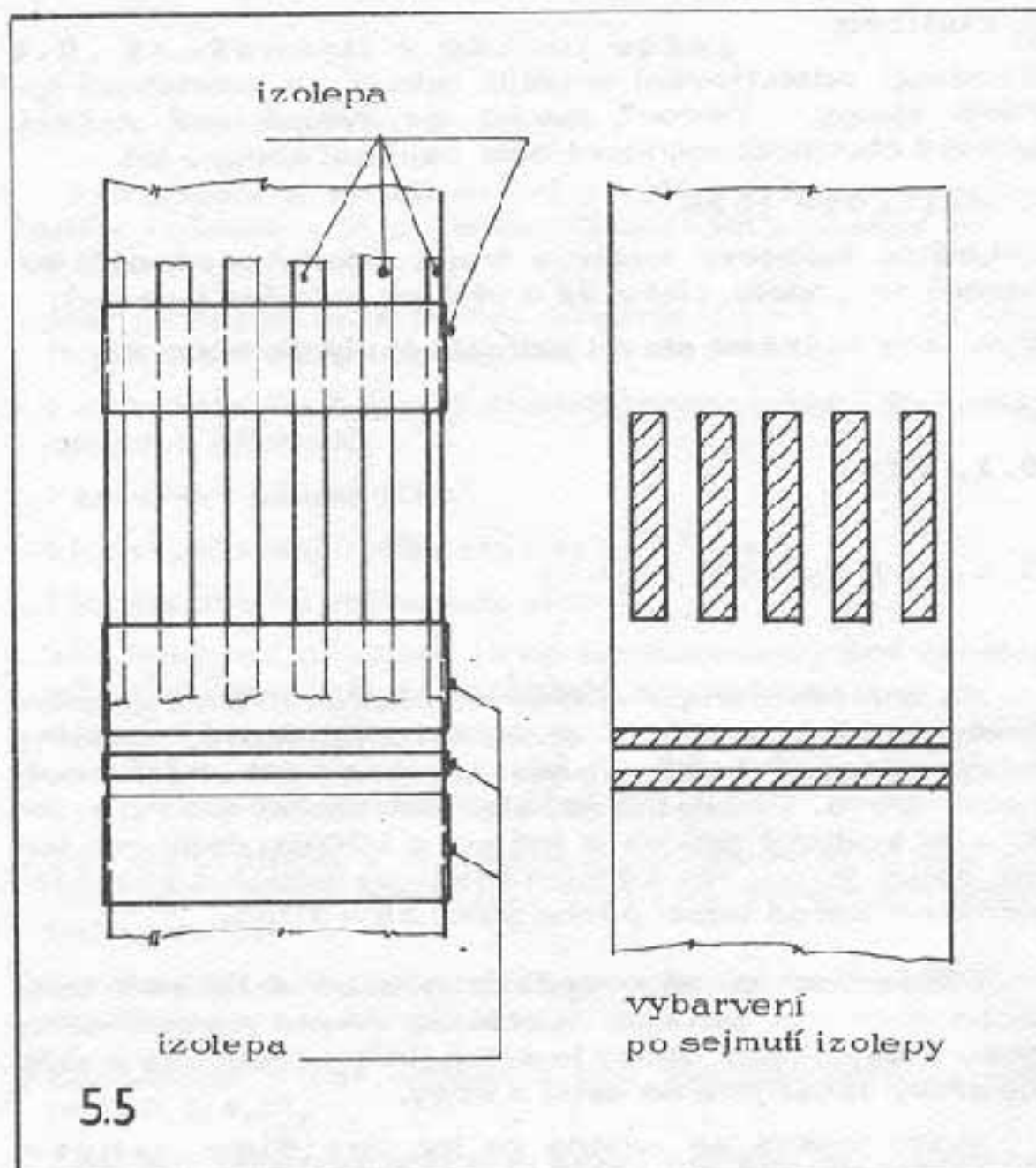
#### 5.1.3. Barvení

Vytmelenou trubku můžeme nastříkat barevným nitro-emálem (nikdy nenatírat štětcem!). Provedeme snadno, použijeme-li sprej Auto-email, což je trochu nákladné. Ke stříkání můžeme použít i obyčejnou fixírku (k dostání v papírnictví nebo v drogerii). K barvení použijeme nitro-email Celox. Je vhodné nastříkat trup nejdříve světlou barvou asi 2-3 vrstvy a vždy po řádném zaschnutí přebrousit smirkem pro broušení pod vodou hrubostí asi 400. Dosáhneme tak hladkého sklovitého povrchu.

Na základní světlou vrstvu můžeme nalepit slabou isolepu a zakrýt některé části (podle vlastní fantazie nebo podle plánu makety skutečné rakety) a zbytek nastříkat jednou vrstvou tmavší, raději však pestré, dobře viditelné barvy - viz obr. č. 5.5. Po „zavádnutí“ barvy t.j. asi za 5 minut sejme opatrně isolepu. (Ponecháme-li isolepu do zaschnutí může nám strhnout sebou barvu). Po dokonalém zaschnutí barvu opět přebrousíme smirkem hrubostí 400.

Při návrhu zbarvení nezapomeneme, že na modelu rakety musí být světlá plocha o rozměrech 10 x 30 mm pro označení kontroly na soutěži.

Pro zlepšení vzhledu použijeme i různé obtisky, propísemné označení. Propisot různé velikosti a barvy,



které koupíme v papírnictví. Tyto konečné úpravy však provádíme až na hotovém modelu.

#### 5.1.4. Leštění

U modelů, které mají stabilizátory balsaové, lakované pouze čirým nitrolakem nebo polepené modelspanem, leštíme trup ještě před přilepením stabilizátorů. Jsou-li stabilizátory stříkány barvou, leštíme po přilepení a nastříkání. Použijeme k tomu kupř. lešticí pastu Silichrom, kterou potřeme leštěnou část a vatou krouživými pohyby vyleštíme. Flanelovým hadříkem dološtíme do vysokého lesku.

Barvy musí být řádně zaschlé, zvláště při kombinacích může dojít k „rozmazání“. Případné zbytky Silichromu lze emýt lihem.

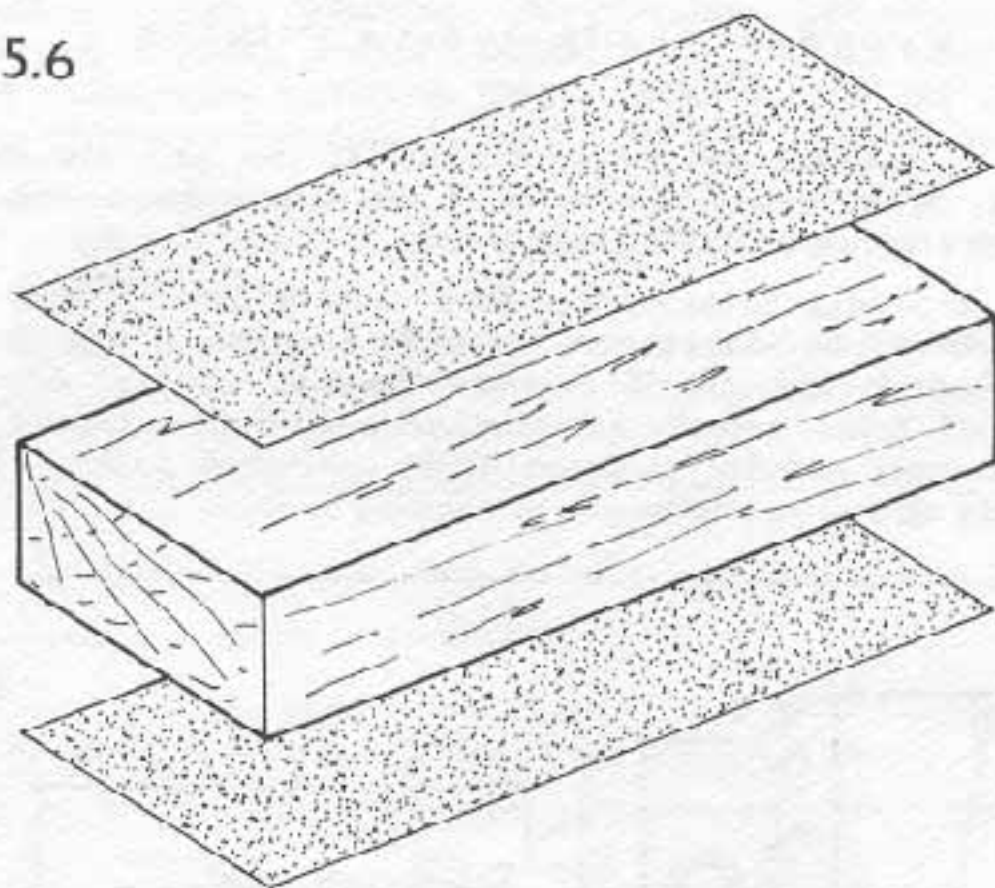
### 5.2. Stabilizátory

#### 5.2.1. Zhotovení stabilizátorů

Materiál na stabilizátory vybíráme podle druhu modelu. Je možné je zhotovit z plastických hmot, překližky a balsy. Plastické hmoty a překližku používáme u modelů, kde nám postačí rovná deska jako stabilizátor bez vybrušování profilu. Naopak u modelů, kde chceme zhotovit souměrný profil nebo různě sražené náběžné a odtokové hrany (u maket), použijeme tvrdší balsu, kterou sbrousíme na potřebnou tloušťku. Zhotovíme si šablonu stabilizátoru z překližky 2 mm nebo duralového plechu, kterou přiložíme na balsu tak, aby léta dřeva byla souběžná s náběžnou hranou stabilizátoru. Ostrým nožem nebo čepelkou vyřízneme stabilizátory, sešpendlíme je dvěma špendlíky MODEL A a dobrousíme přesný tvar. Při broušení povrchu stabilizátorů se neobejdeme bez brousících destiček. Připravíme si je tak, že na čistě opracované



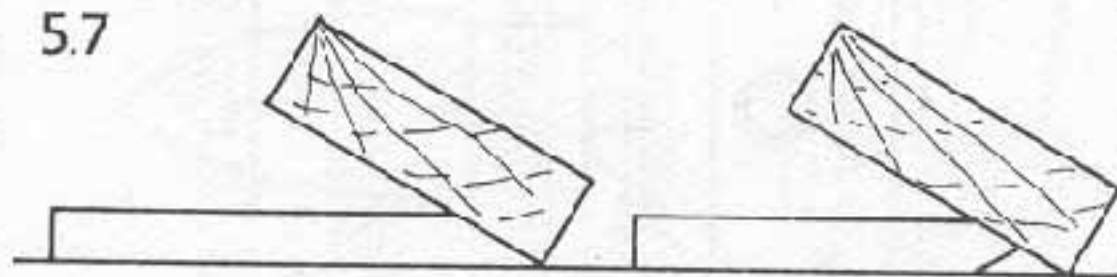
5.6



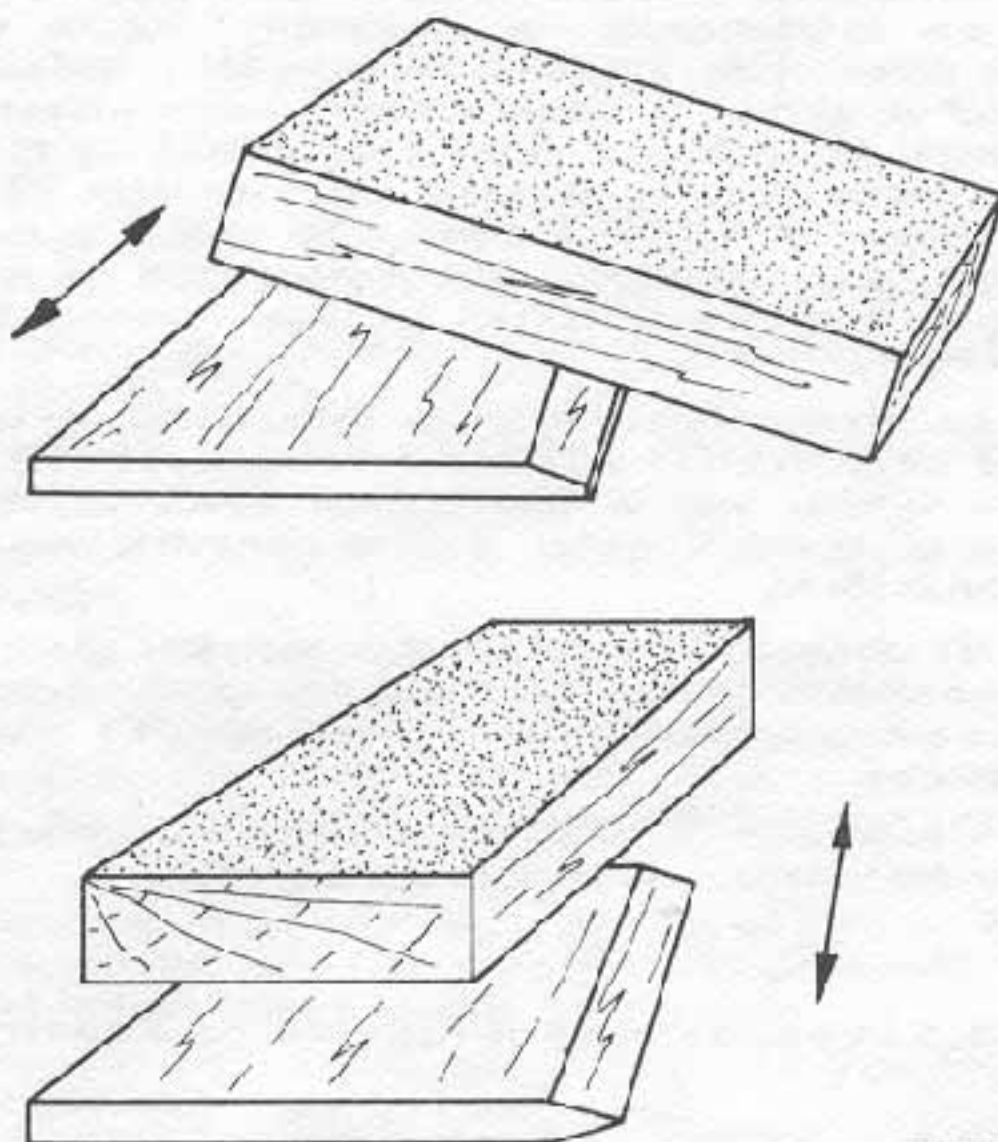
prkénko přilepíme podle obrázku č. 5.6 brusný papír a to z jedné strany hrubší a z druhé strany jemný.

Při vybrušování profilu položíme stabilizátor na rovnou podložku, nejlépe čistou kreslicí čtvertku. U ostré náběžné hrany nejprve zbrousíme načisto jednu stranu, potom druhou (obr. č. 5.7). Tahy při broušení označuje šipka

5.7



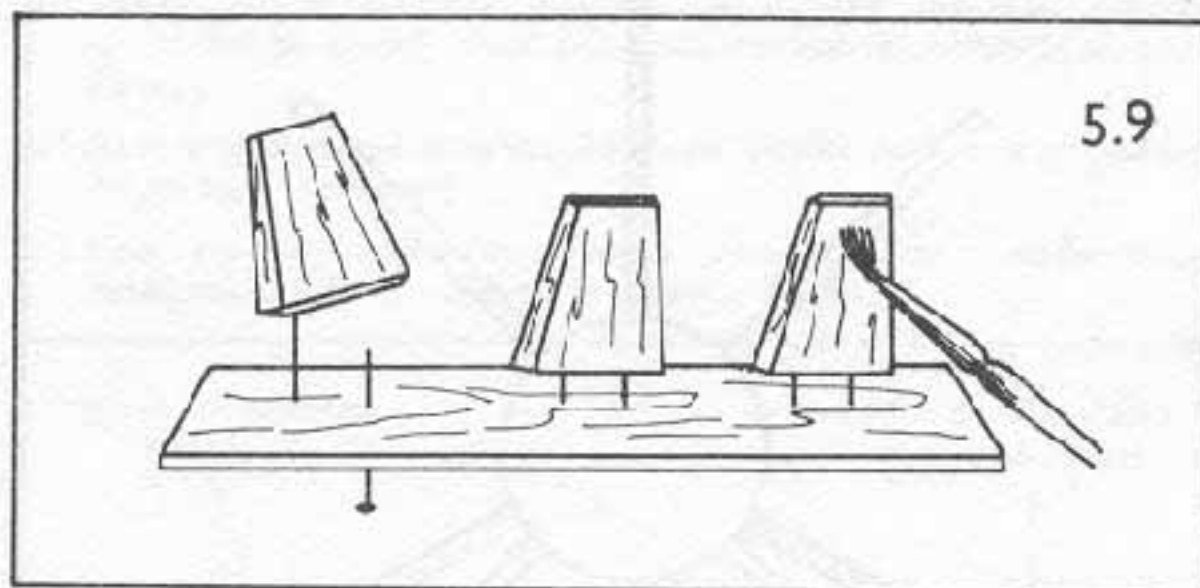
na obr. č. 5.8. Vybrušené stabilizátory musíme dále



5.8

povrchově upravit. Pro dobrou manipulaci se stabilizátory nám pomůže jednoduché připíchnutí stabilizátorů podle obr. č. 5.9.

5.9



### 5.2.2. Povrchová úprava stabilizátorů

Podle svých možností, druhu modelu a potřeb povrchové úpravy si můžeme vybrat ze 3 způsobů:

- ponechat v barvě dřeva
- polepit barevným modelspanem
- nastříkat barevným nitroemalem.

Při ponechání v barvě dřeva je nutné stabilizátory natřít aspoň 4x čirým nitrolakem (ne vypínacím) a vždy po zaschnutí přebrousit a nakonec přeleštit. Po této úpravě je možné přilepit stabilizátor na trup.

Na polepení balsaových stabilizátorů používáme tenký modelspan nebo japan. Nejdříve papír přilakujeme z jedné strany čirým lepicím nitrolakem a ořízneme čepelkou s přesahem 1,5 mm. Přesahující okraj přihneme a přilakujeme na druhé straně stabilizátoru. Druhou stranu polepíme a papír ořízneme bez přesahu. Takto polepené stabilizátory nalakujeme alespoň 3x čirým nitrolakem a můžeme přilepit k trupu.

Nastříkání barevným nitroemalem provádíme po provedení povrchové úpravy a přilepení k trupu. Po vyříznutí a vybrušení stabilizátoru provedeme ještě tmelení po obou stranách. Vybrušíme jemným smirkem (hrubost asi 300), nalakujeme 2x čirým nitrolakem a opět přebrousíme. Takto upravené stabilizátory přilepíme k trupu, vytmelení přechody a nastříkáme barevným nitrolakem současně s trupem. Po zaschnutí (nejméně 24 hod) můžeme barvu smirkem pro broušení pod vodou hrubosti 400 přebrousit a přeleštit.

### 5.2.3. Přilepení stabilizátorů

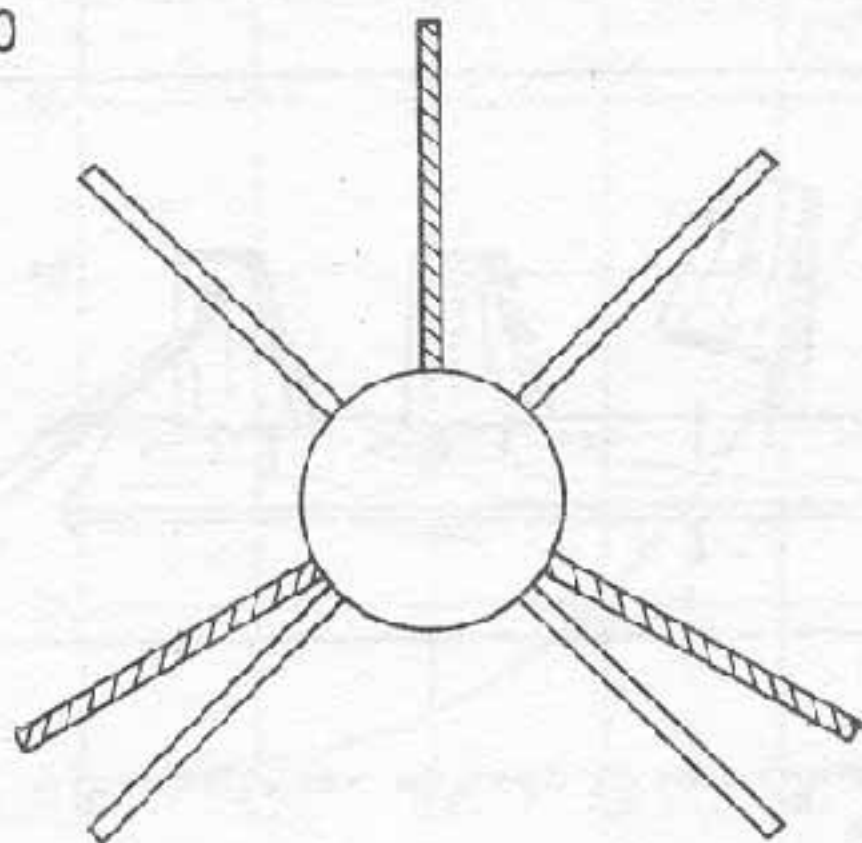
Stabilizátory přilepujeme k trupu lepidlem Kanagom. Pro přesné a jednodušší ustavení stabilizátorů na trup si zhotovíme jednoduchý přípravek podle obr. č. 5.10. Na čtvertku narýsujeme tuší měrku, spočívající z nakresleného kruhu  $\phi 18\text{ mm}$  a 3 čar ze středu pod úhlem  $120^\circ$  (nebo 4 čáry po  $90^\circ$ ). Měrku přilepíme na překližku tloušťky 5 mm. Uprostřed vyřízneme otvor  $\phi 18\text{ mm}$ , do kterého přesně kolmo zalepíme použitý vypálený motor nebo trn o  $\phi 18\text{ mm}$ .

Na takto získaný pevný trn nasuneme trubku budoucího trupu rakety, označíme si umístění stabilizátorů podle šablony. Pomocí úhelníků vztýčíme kolmice, podle nichž budeme ustavovat stabilizátory kolem trupu (obr. č. 5.11), jež do zaschnutí lepidla zajistíme špendlíky. Kolmost zkontrolujeme úhelníkem nebo měrkou. Po řád-

(Obrázky č. 5.10 a 5.11 jsou na následující straně.)

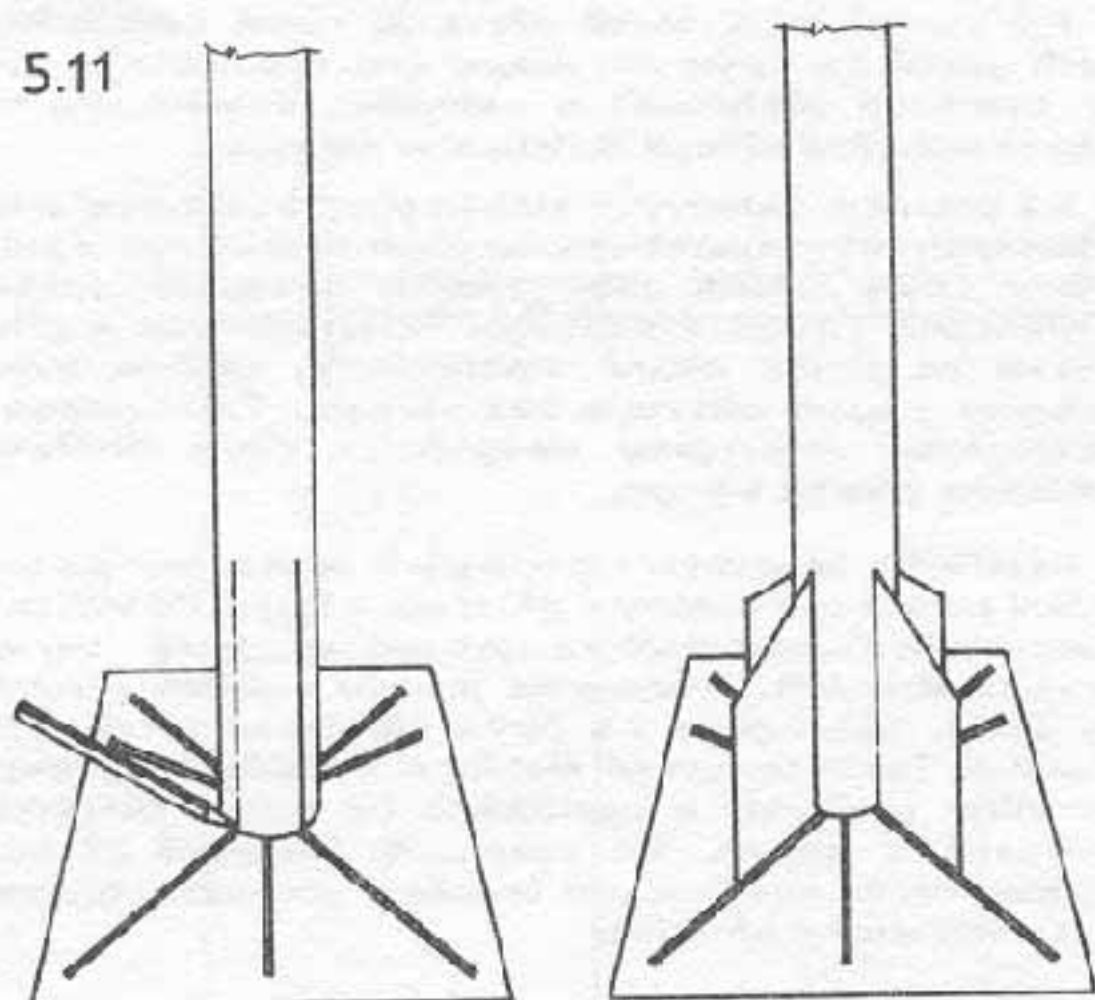


5.10



ném zaschnutí Kanagomu sejmeme trup z přípravku a v místech spojů zhotovíme lepidlem Epoxy 1200 oblé přechody mezi stabilizátorem a trupem.

5.11



### 5.3. Hlavice

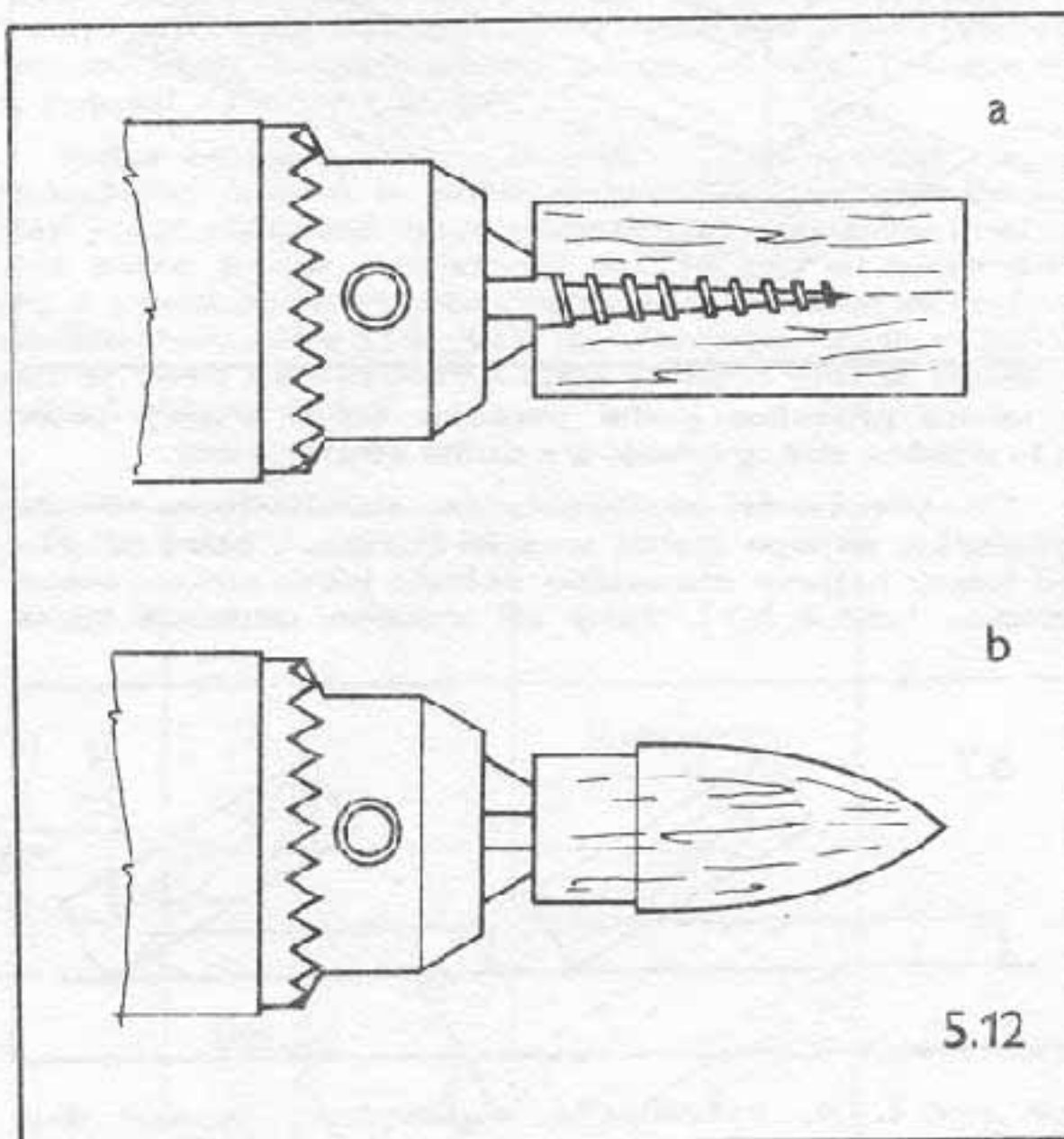
Zhotovení hlavice bývá nejzávažnějším problémem při stavbě, zvláště u mladých začínajících modelářů. Podle možnosti si můžeme vybrat ze čtyř výrobních způsobů:

- vybroušením hlavice na vrtačce
- vysoustružením na soustruhu
- kaširováním
- odléváním.

#### 5.3.1. Vybroušení hlavice na vrtačce

Je to způsob asi nejpoužívanější jak pro snadnost výroby, tak i proto, že vrtačka je dostupná v domácnostech i v klubech ZO Svazarmu.

Do sklíčidla vrtačky upneme vrut  $\phi$  5mm, u kterého jsme odřízli hlavičku a závit necháme vyčnívat asi 35mm. Z hranolu balsy jehož rozměr by měl být asi o 5mm větší než bude průměr hlavice, uřízneme tak dlouhý díl, jak dlouhou hlavici budeme dělat - včetně délky, která se bude zasouvat do trupu.



5.12

Seřizujeme na hranolu hrany, aby vznikl mnohohran a ten našroubujeme na připravený vrut ve vrtačce „na doraz“ (obr. č. 5.12a). Při nejvyšších otáčkách pak nejdříve dlátkem a potom brusným papírem vybrousíme hlavici do žádaného tvaru a rozměrů (obr. č. 5.12b). Zhotovenou hlavici sejmeme sešroubováním ze závitu a můžeme ji opět našroubovat při dalším opracování, které bude následovat, aby hlavice měla co nejmenší odpor. Vybroušenou hlavici lakujeme, tmelíme, barvíme a leštíme.

Na výrobu hlavice vybíráme balsu tvrdší, ale takovou, aby celý hranol měl stejnou tvrdost. Při špatném výběru, kdy je část hranolu měkčí, ubývá měkčí část při broušení rychleji a nelze zhotovit hlavici kruhového průřezu.

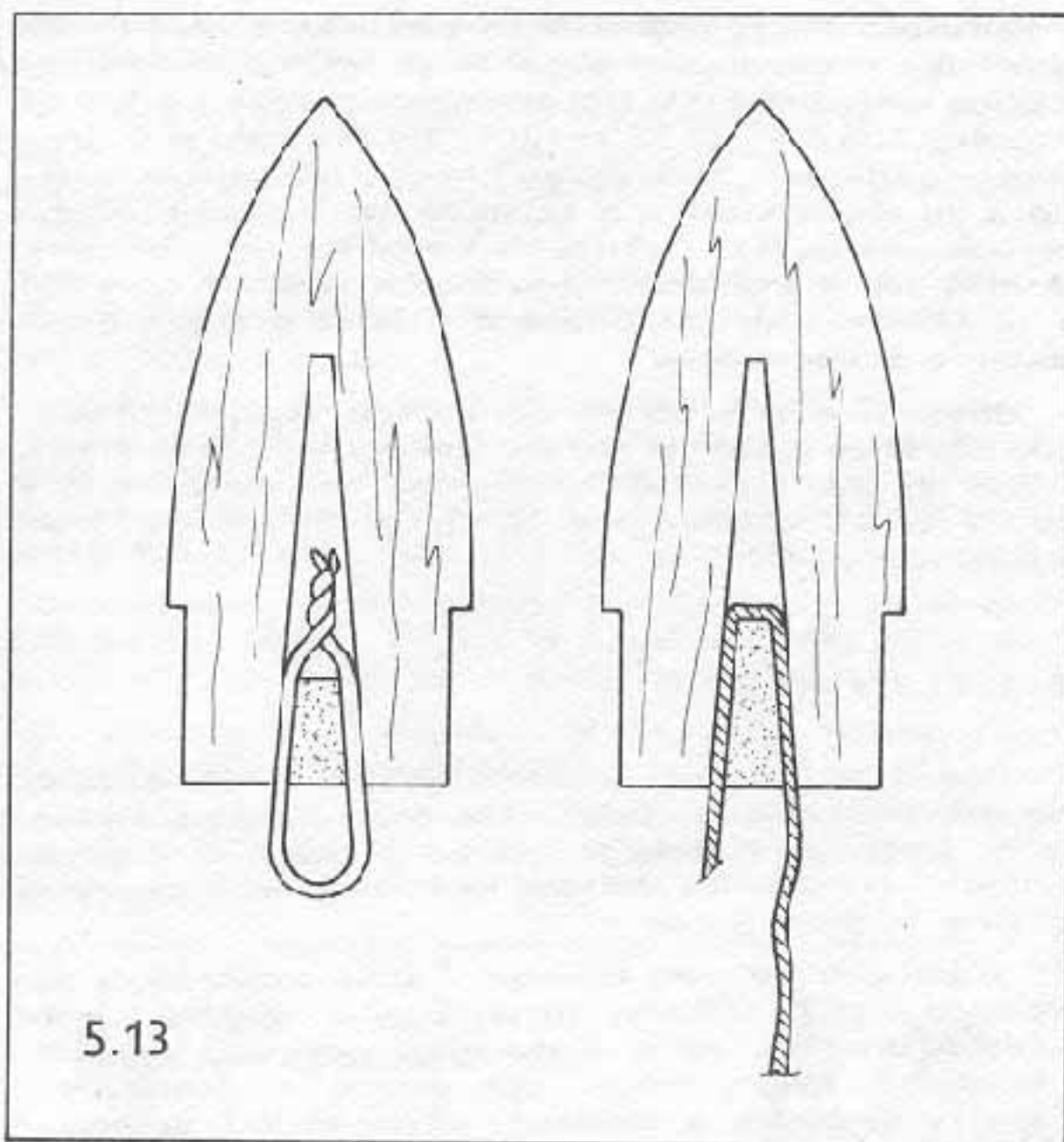
Do vzniklého otvoru po vrutu zalepíme očko z drátu nebo silnější obuvnickou nit, kterou zakolíkujeme kouskem balsy obr. č. 5.13. Obojí nám poslouží k připevnění k trupu.

V kroužcích ZO Svazarmu a v pionýrských kroužcích provedí vybroušení hlavice vedoucí kroužků.

#### 5.3.2. Vysoustružení hlavice na soustruhu

Pokud máme v zařízení dílny soustruh, pak zhotovení hlavice je snadnou záležitostí. Při nejvyšších otáčkách vysoustružíme ostrým nožem hlavici z balsy nebo lipo-





5.13

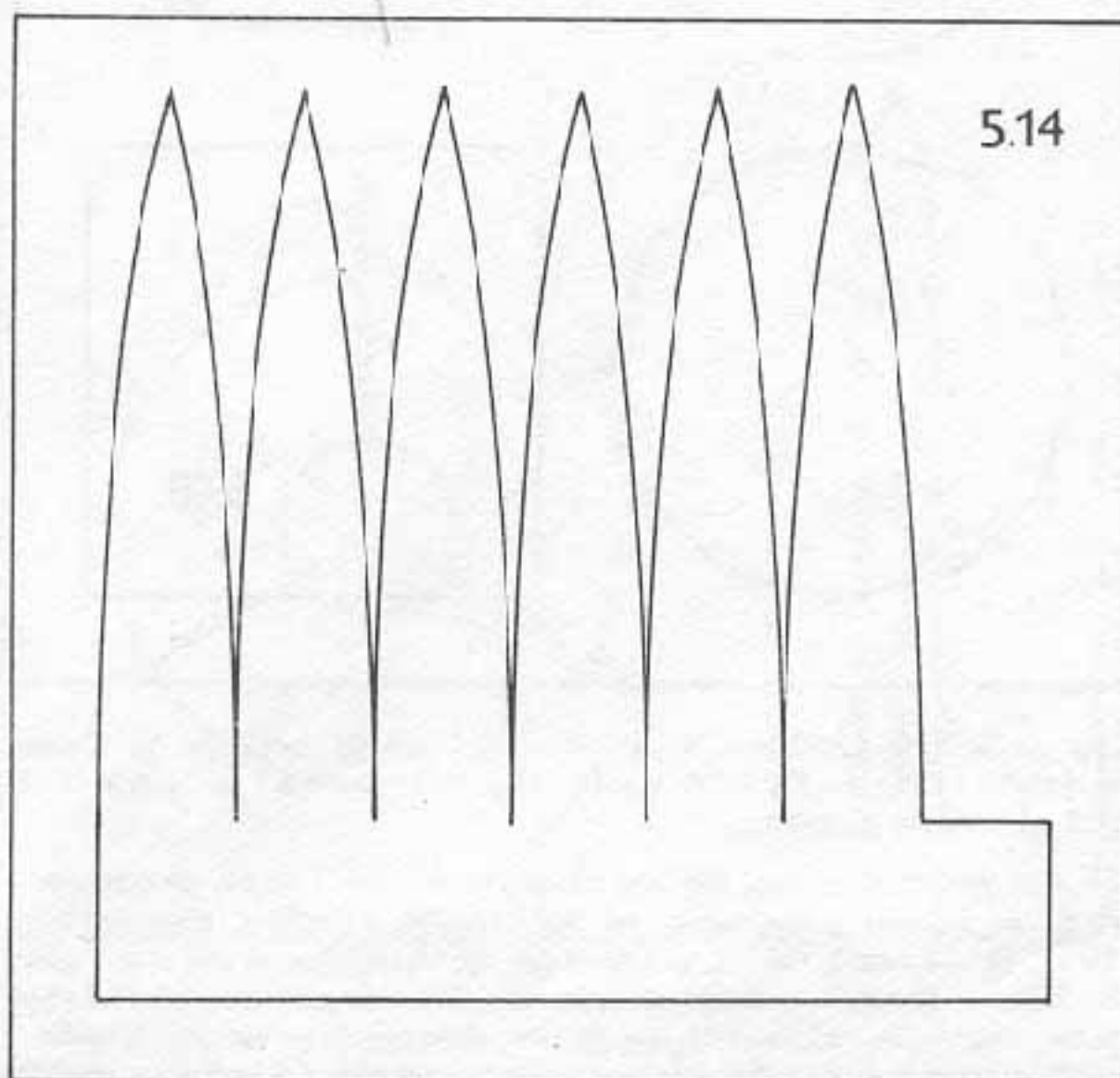
vého dřeva podle žádaného tvaru a přeleštíme smirkem. Následuje rovněž lakování, tmelení, barvení a leštění.

Práci na soustruhu provádí z bezpečnostních důvodů vedoucí kroužků nebo osoby vyučené v oboru.

#### 5.3.3. Kaširování hlavice

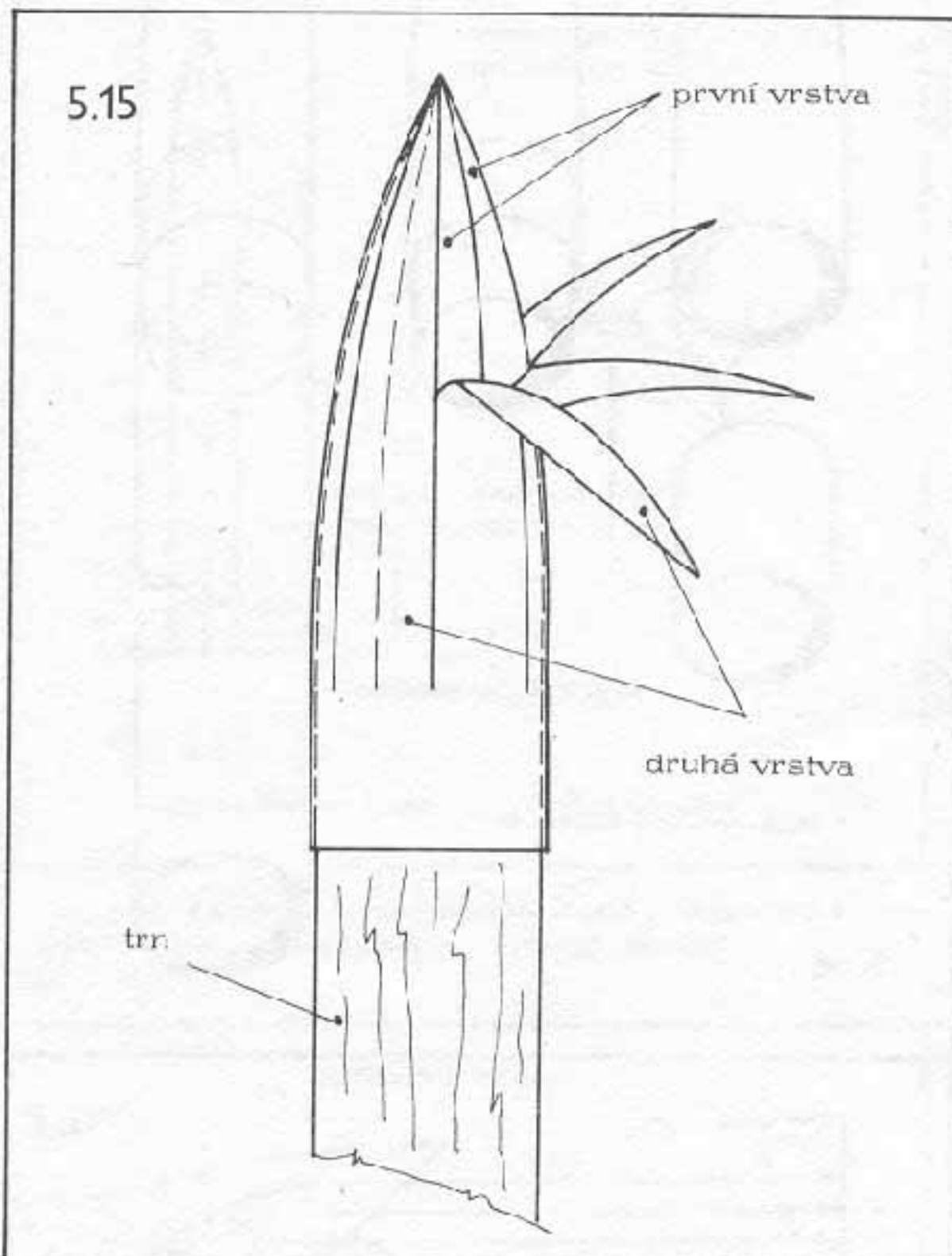
Kaširováním z papíru si lze zhotovit lehkou a pevnou hlavici. Předpokládá se pouze zhotovit trn z kovu či z umělé hmoty. Největší průměr trnu hlavice by měl být shodný s průměrem trnu, na kterém zhotovujeme trup. Trn před kaširováním natřeme pastou na parkety nebo podobným prostředkem.

Podle použitého trnu vypočítáme obvod hlavice. Zjištěnému rozměru bude odpovídat šířka páska papíru, k níž přidáme asi 10mm na přelepení (obr. č.5.14).



5.14

Na výšku hlavice přidáme 5 až 10mm. Proužek papíru rozdělíme na šest dílů, vystříháme tvar špiček na výšku až po část, kde hlavice přechází ve válcovou část. Natočíme na trn a Kanagomem slepíme, nejdříve válcovou část a potom špičky proužků. Po zaschnutí přilepíme další vrstvu stejným způsobem jen s tím rozdílem, že proužky druhé vrstvy budou překrývat mezery první vrstvy (obr. č.5.15).



5.15

Po důkladném zaschnutí přebrousíme nerovnosti. Takto připravenou hlavici natřeme stejnoměrně Epoxy 1200 a po vytvrzení opět přebrousíme. Hotovou hlavici stáhneme z trnu a vnitřek vytřeme acetonem, abychom odstranili pastu. Po vyschnutí vytřeme i vnitřek Epoxy 1200. Do vytmelené, lakované a leštěné hlavice nakorec zalepíme kousek trubky, která přesně suvně lícuje s vnitřním průměrem trupu rakety. (Viz obr. č.5.16, který je na následující straně.)

Stejným způsobem můžeme na trn zhotovit i kuželové přechody na trup rakety.

#### 5.3.4. Odlévání hlavic

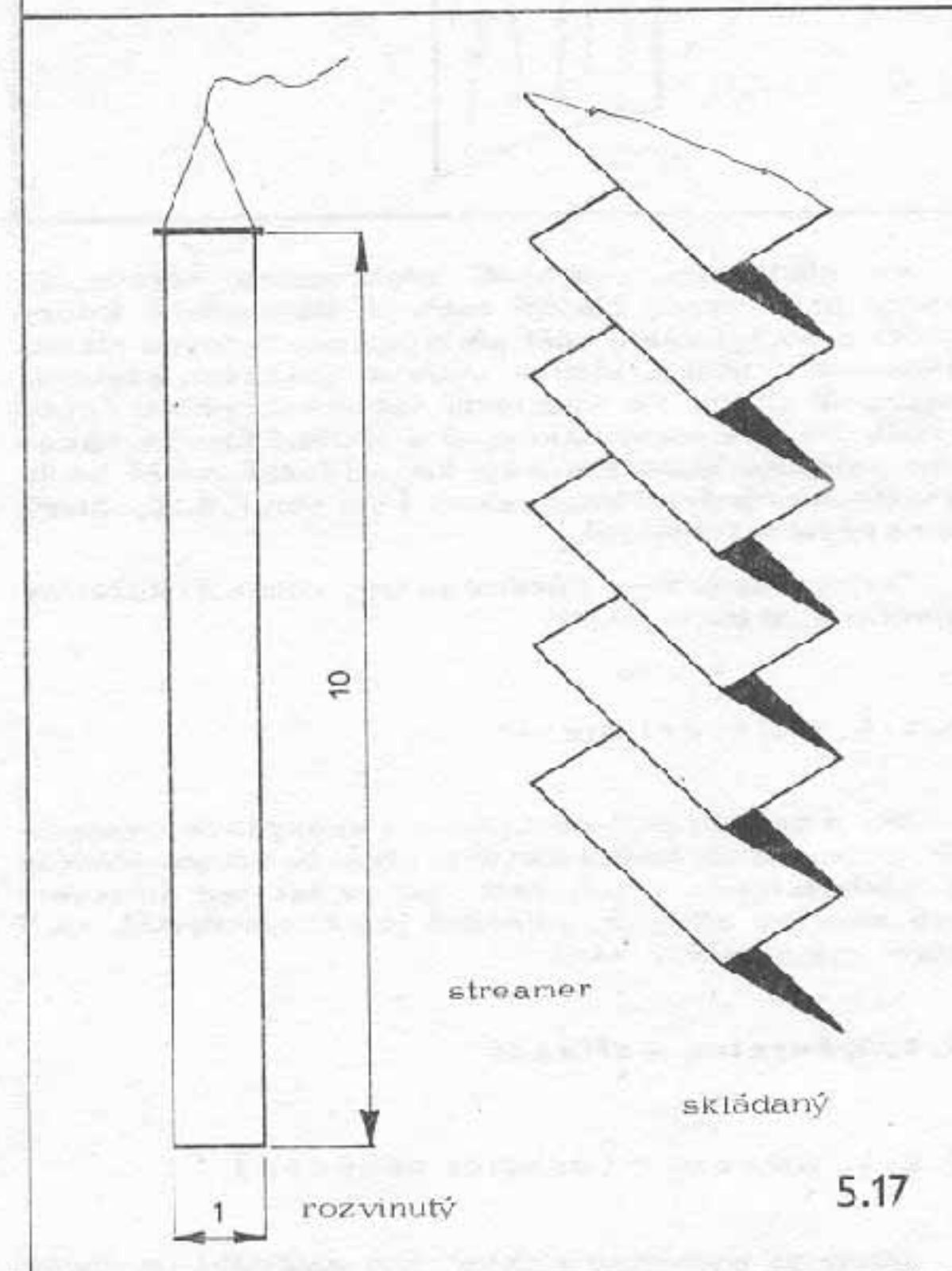
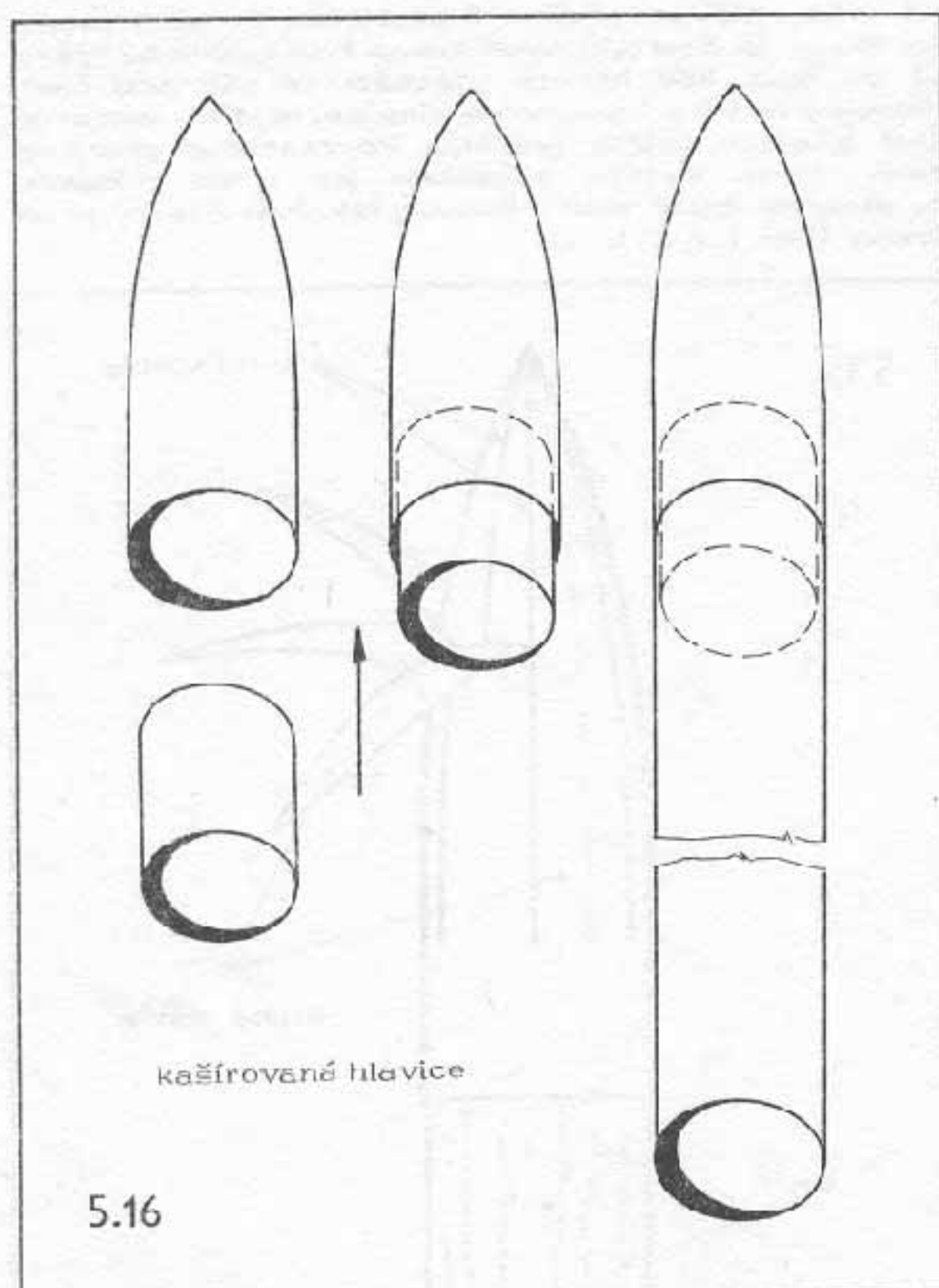
Jde o způsob zhotovení hlavic z epoxydové pryskyřice. Forma na zhotovení hlavic je přesnou soustružnickou a nástrojařskou prací; proto se vyplatí její zhotovení pro kroužek mládeže, případně pro tým modelářů, kteří staví stejné makety raket.

#### 5.4. Návrtné zařízení

##### 5.4.1. Streamer (brzdící proužek)

Streamer zhotovíme z celistvého materiálu, například





z hedvábné látky, papíru nebo plastické fólie. Rozměr obdelníku v rozvinutém stavu musí být v poměru šířky k délce minimálně 1:10. Doporučujeme nejvíce používané rozměry 60x800 až 120x1200. Delší stranu si připravíme s přídavkem 5 mm. Jeden z kratších okrajů skroužíme a do ohybu vložíme a zalepíme bambusovou štěpinu chrouščenou na  $\phi 1 - 1,5$  mm. Na konce štěpiny přivážeme pevnou nit a svážeme v libovolném místě. Konec nitě je připevněn k hlavici, případně v těžišti modelu – podle taktiky a druhu modelu.

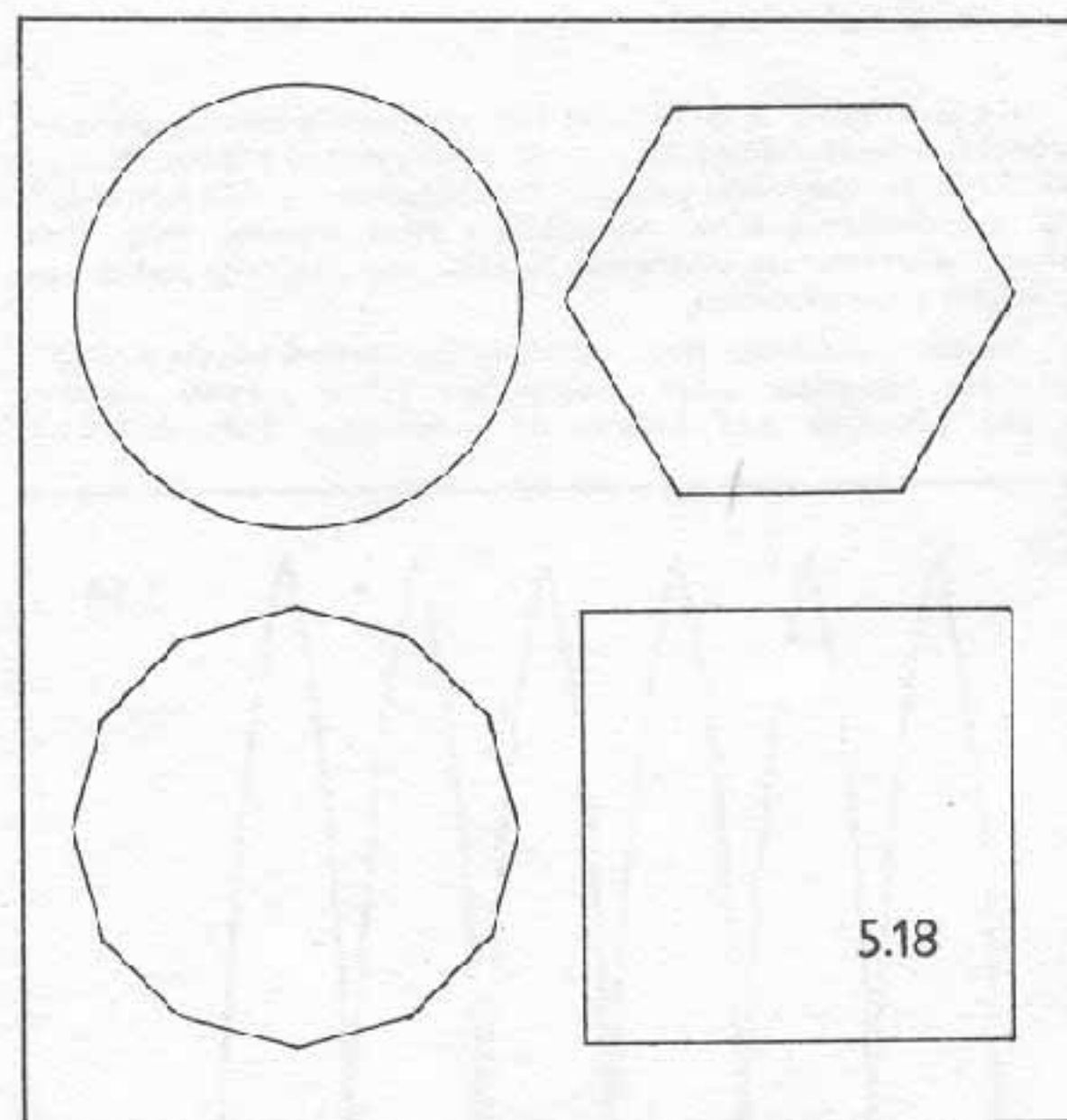
Streamer z obou stran nastříkáme fluorescenční barvou Signál ve spreji (je nejlépe vidět ve výšce na zemi). Potom jej „harmonikově“ složíme tak, aby varhánky byly široké asi 10 – 12 mm (obr. 5.17). Dosáhneme tím pomalejšího klesání modelu.

#### 5.4.2. Padák

Pokud si chceme postavit model bez požadavku na sportovní výkon, postačí nám zakoupený padák Modela, který je k dostání v modelářských prodejnách, případně lze použít světlicový hedvábný padák obarvený pestrými barvami Duha.

Nemáme-li možnost zakoupení a nebo chceme-li dosahovat vyšší výkon, přikročíme k vlastní výrobě padáku. Nejlépe se z dostupných materiálů hodí tzv. „banánová fólie“, kterou lze sehnat v zeleninářství (obal v krabicích s banány), případně jiné průhledné nebo černé nebo pokovené fólie (Mylar), které používají špičkoví sportovci, v zásadě však co nejtenčí a nejlhčí.

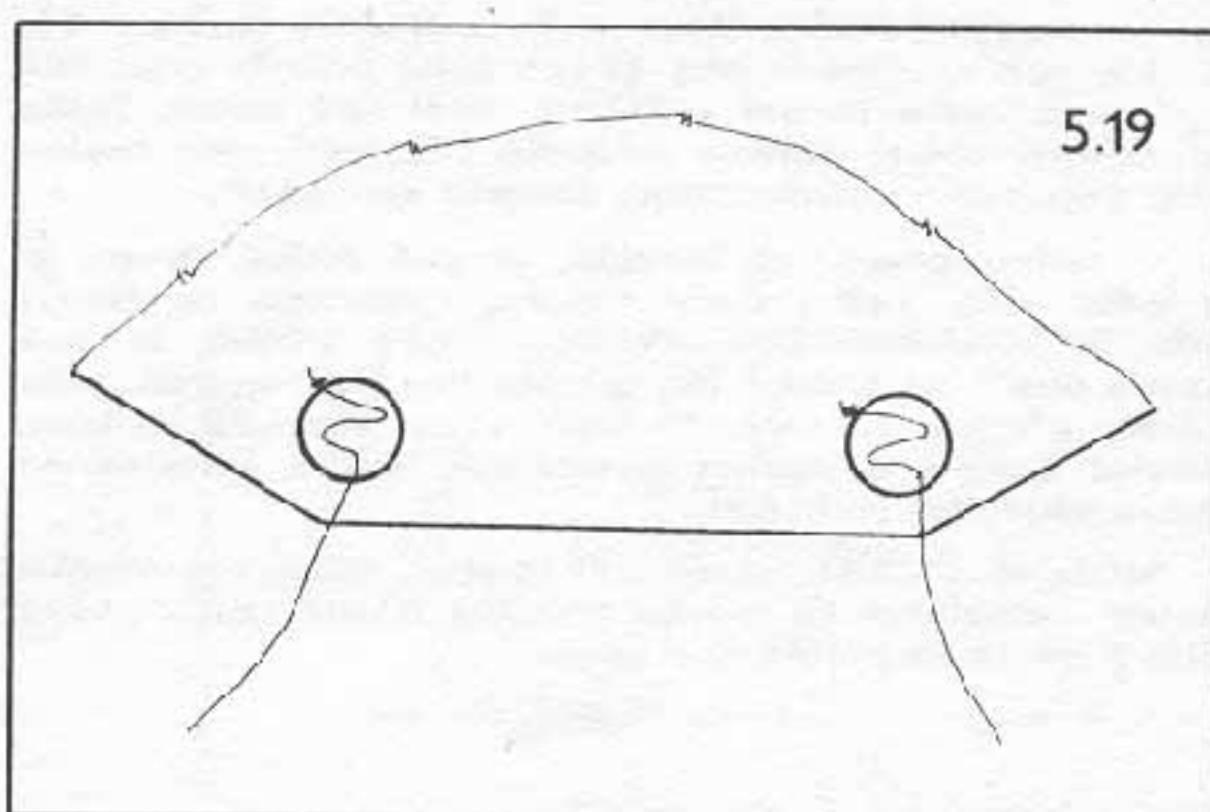
Pro začínající modeláře postačí banánová fólie, ze které vystříháme padák o zvoleném průměru nebo tvaru (obr. č. 5.18). Po obvodu si naznačíme upevnění šňůr.



Do průměru 600 mm stačí 8 šňůr, větší průměr je třeba opatřit 10 až 12 šňůrami, jejichž délka je přibližně 1,5 průměru padáku.

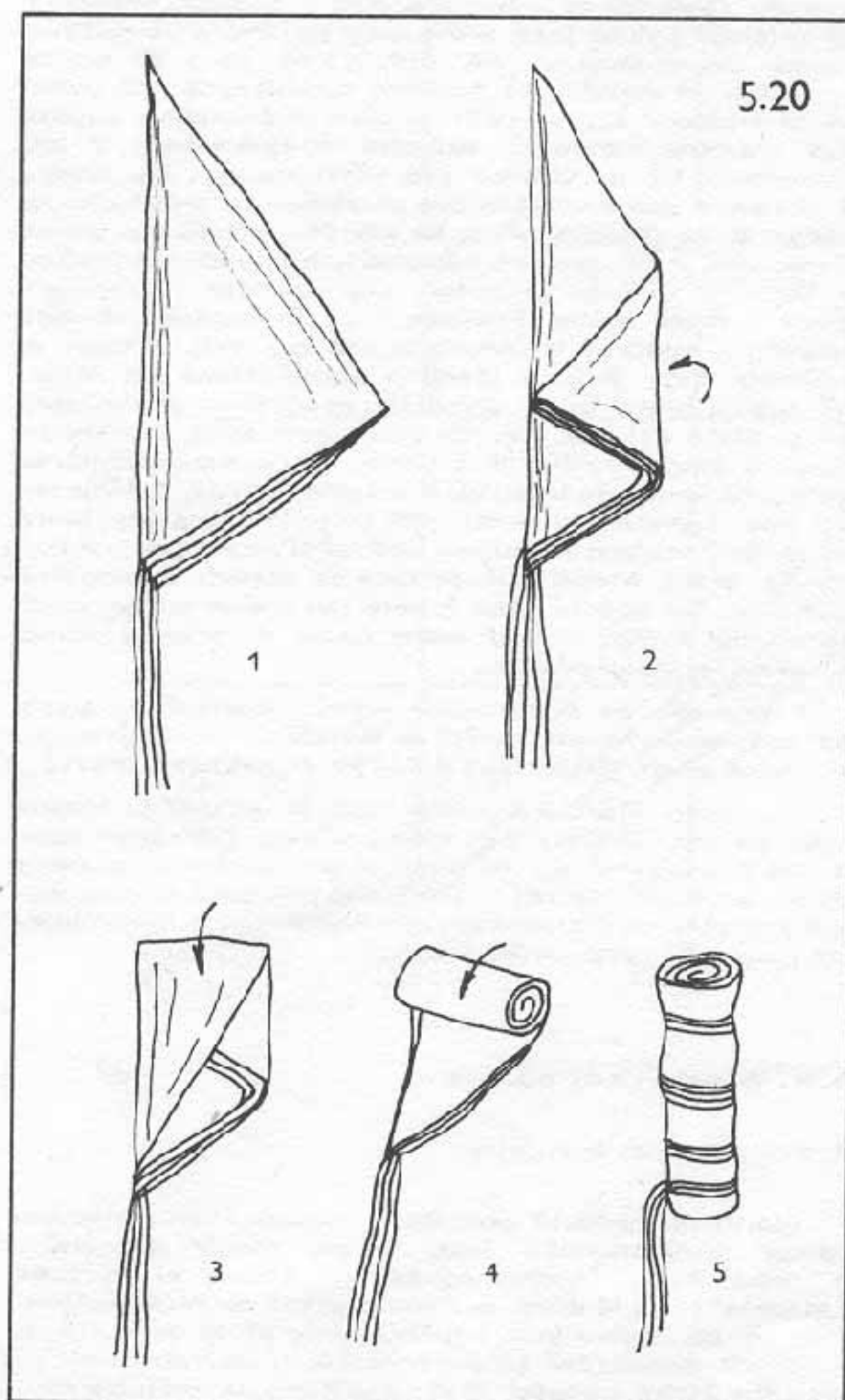
Na jednom konci šňůry zhotovíme uzel proti přeměknutí a šňůru přilepíme kroužkem z kvalitní samolepky (asi  $\phi 12$  mm) na igelit šňůra na označená místa (obr. č. 5.19). Druhé konce svážeme dohromady a přivážeme k trupu. Jako materiál na šňůry doporučujeme užít rezné nitě, případně silnější. Nelze však použít šňůry z umělých





hmot, protože při výmetu může dojít k jejich spečení nebo přepálení, což má za následek neotevření padáku, nebo jeho poškození a tím i menší výkony na soutěži.

Protože banánová fólie není na obloze viditelná, je nutné ji zabarvit. Lze to provést značkovačem Fix; nejlépe však vyhovuje obyčejná prášková barevná hlínka, používaná k malování pokojů. Na volném prostranství nasypeme hlínku na rozevřený padák zevnitř. Zvnějšku hlínku v padáku promáčkáme a vysypeme



po větru! Množství barvy, které „ušpiní“ fólii, stačí ke zbarvení a ještě nám plní další funkci, že se padák neslepí při sbalení. Pokud budeme vyrábět padáky v kroužku mědeže, je vhodné provádět toto barvení najednou pro všechny.

Padáky si vyrobíme alespoň 2 kusy různých rozměrů – vzhledem k možnosti ulétnutí.

Aby se padák spolehlivě otevíral, musíme se naučit jej skládat. Není na to přesný postup a záleží to na průměru rakety, délce trupu a druhu materiálu, ze kterého je padák zhotoven. Jako nejspolehlivější postup je u kruhového a mnohohranného padáku skládání na trojúhelníky a potom stočení do válce (obr. č. 5.20). Při stáčení do válce „přibalíme“ i polovinu délky šňůr do padáku, zabalíme padák do tenkého papíru (vhodný je skládaný toaletní) a můžeme vložít do trupu, kam se musí vsunout volně.

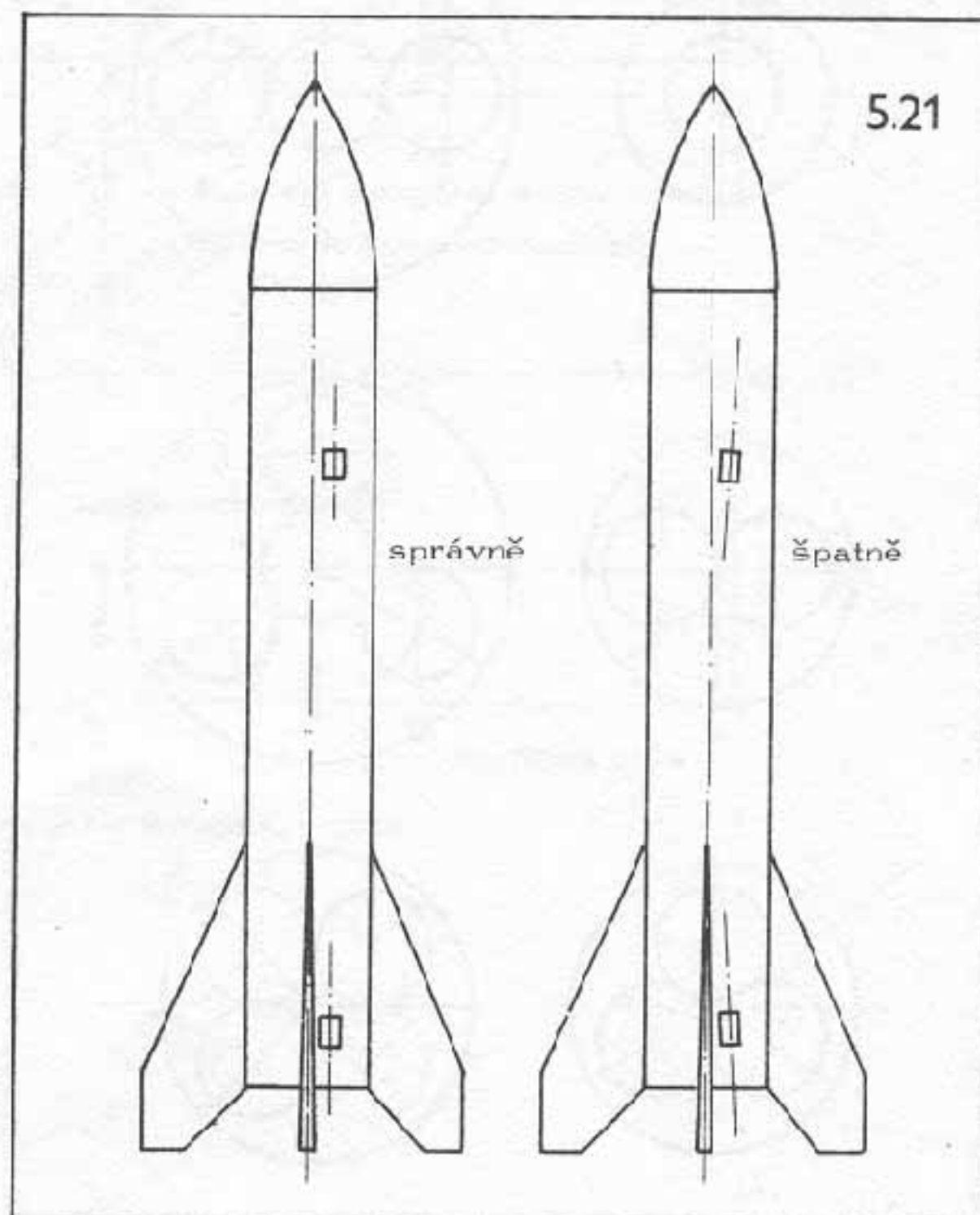
U některých plastických fólií vzniká při balení statická elektřina, která „slepí“ padák natolik, že se v mnoha případech vůbec neotevře. Tento jev se dá odstranit antistatickou utěrkou (k dostání v prodejně Foto), dříve popsanou hlínkou nebo nasypáním zásypu Sypsi do padáku.

### 5.5. Vodítka

Vodítka zhotovujeme z hliníkové fólie tloušťky 0,2 až 0,3 mm tak, že nastříháme asi 6 mm široké pásky o délce asi 19 mm. Na drátu nebo stopce vrtáku  $\varnothing 5,5$  mm skroužíme vodítka. Pokud není k dispozici fólie, lze je zhotovit i z hnědé papírové lepicí pásky navinutím na trn o  $\varnothing 5,5$  mm ze 4 vrstev a rozřezat čepelkou na délku 6 mm.

Průměr 5,5 mm je stanoven proto, že pořadatelé soutěží používají rampy k odpalování o  $\varnothing 3,4$  a 5 mm. Budeme-li dělat vodítka podle své rampy, postačí vůle mezi průměrem rampy a trnem vodítka 0,5 mm. Zbytečně velký průměr vodítka zvyšuje odpor.

Přilepení vodítek na trup je nutné věnovat velkou pozornost, aby byla v ose (obr. č. 5.21) a nedrhla



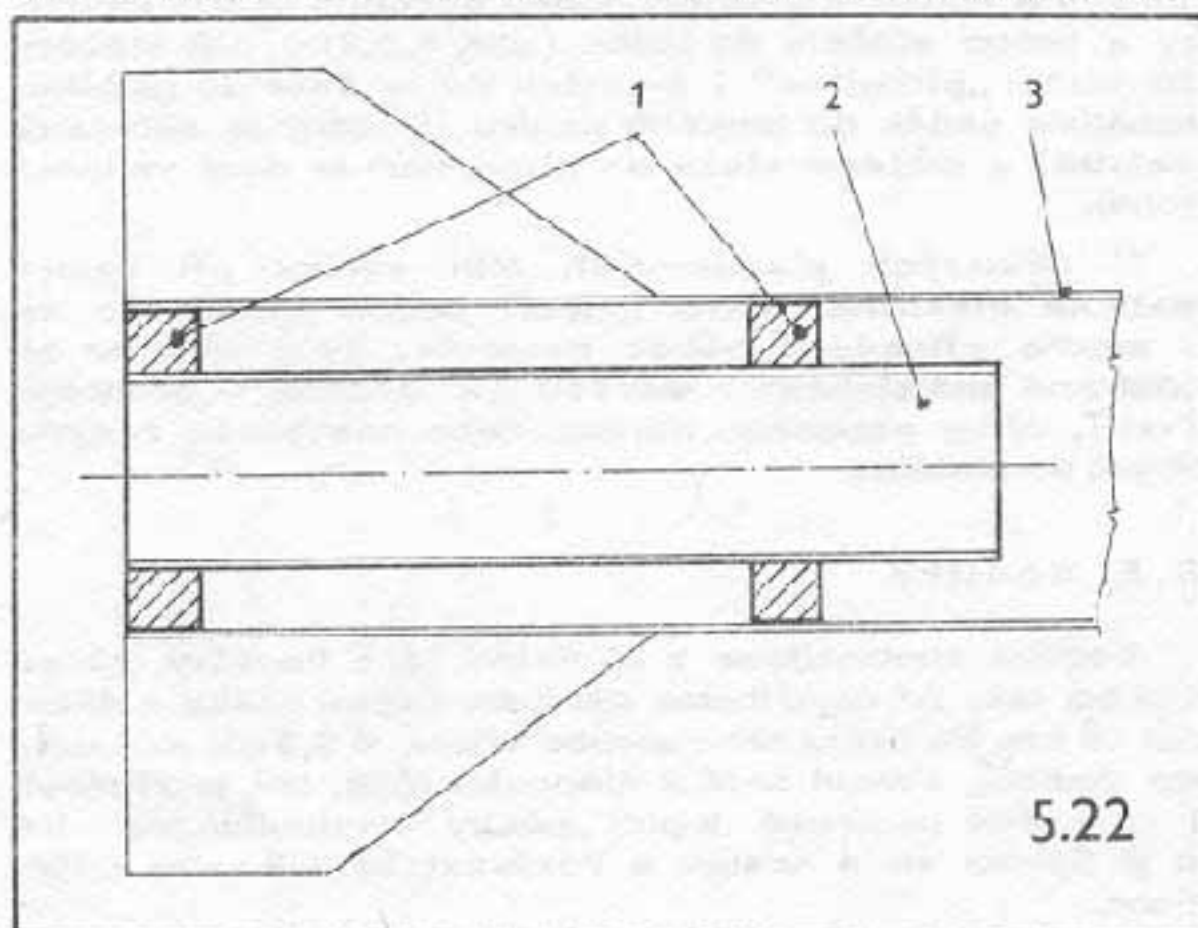


na rampě, což se opět projeví ve výkonu dosažené výšky.

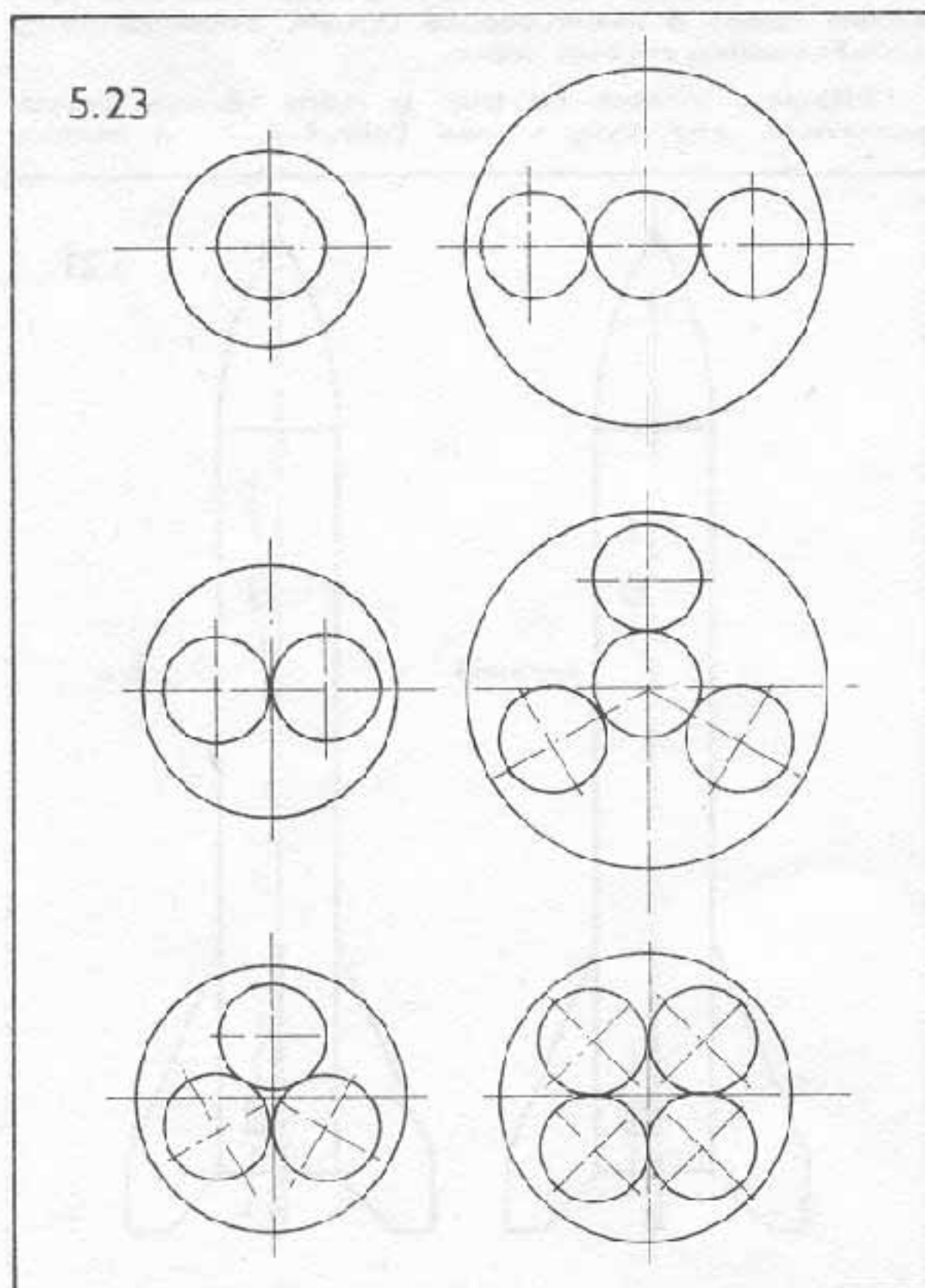
Chceme-li dosáhnout vyšších výkonů, tak vodička na model nedáme a zhotovíme si dotykovou rampu popsanou v další stati.

## 5.6. Motorové lože - redukce

U modelů raket, jejichž vnitřní průměr trupu je větší než použitý motor, je zapotřebí zhotovit motorové lože



zrůzněně na obr. č. 5.22. Podle počtu použitých motorů jejich vzory uspořádání jsou na obr. č. 5.23, si připraví-



me z balsy tloušťky 5mm dvě mezikruží (pozice 1), do kterých vlepíme trubky (2), jejichž průměr odpovídá motoru a délka je asi o 20mm delší než motor. Takto zhotovený celek vlepíme do trupu (3) ještě před tmelem, abychom mohli dno trupu zatmelit současně.

U jednomotorových modelů, jejichž průměr trupu je o málo větší než průměr motoru, zhotovíme mezikruží tak, že navineme proužky balsy šíře 10mm, řezané „přes lóta“, na trubku (2) a přilepíme je. Doporučujeme pásky předem namočit do teplé vody, skroužit na trnu, omotat gumou a nechat zaschnout. Takto skrouženou balsu přilepíme na trubku.

Můžeme použít i jednodušší způsob. Místo okružování balsy namotáme na trubku proužky hnědé lepicí pásky šíře 5mm až na potřebný průměr.

## 5.7. Sestavení modelu

Sestavení modelu věnujeme zvláštní pozornost, protože oddělení jakékoliv části modelu má za následek anulování startu, což nejen nepřispěje k náladě, ale může i způsobit havárii modelu.

Máme-li zhotoveny všechny dříve popsané díly, přistoupíme ke kompletaci rakety. Na trup s nalepenými stabilizátory musíme připevnit gumovou nit nebo obuvnickou nit. Způsobů je několik a jsou v podstatě všechny spolehlivé, pokud jsou provedeny pečlivě a po každém startu zkontrolovány. Na obr. č. 5.24 jsou tři možné způsoby. Provedení a) spočívá v přilepení nitě uvnitř trupu lepidlem Epoxy 1200 a přelepení páskem papíru, aby vložené návratné zařízení nezadrhávalo o nit. Provedení b) je vhodné pro větší modely. Na drátku  $\phi$  0,4mm a délce cca 100mm zhotovíme na jednom konci háček a na druhém očko, ke kterému přivážeme gumu. Tento spoj ještě omotáme náplastí nebo podobnou páskou z tkaniny. Omotání je nutné, aby nedošlo k přepálení gumy v místě spoje. Provedení c) je vhodné pro malé modely a spočívá v upevnění nitě motorem. V trupu si uděláme otvor  $\phi$  1mm těsně u stabilizátoru asi 30mm od spodní hrany trupu. Zvnějšku prostrčíme obuvnickou nit o délce asi 700mm. Nit vytáhneme spodním koncem trupu a proti vyvléknutí z otvoru ji na konci pojistíme uzlem. Nasunutí do trupu stačí kupevnění nitě. Zvláštností tohoto upevnění je vedení nitě po povrchu rakety, která po vložení vrchem do trupu a upevnění musí zůstat napnutá. Na druhý konec nitě přivážeme hlavici a návratné zařízení. Do spodní části rakety nasuneme motor, který nesmí být volný. Pokud motor nejde do modelu ztuhla, ovíneme jej lepicí páskou.

V případě, že bude motor volný, okamžitě po startu se posune do rakety, změní se těžiště a model havaruje, případně shoří. Může však dojít i ke zbytečnému úrazu!

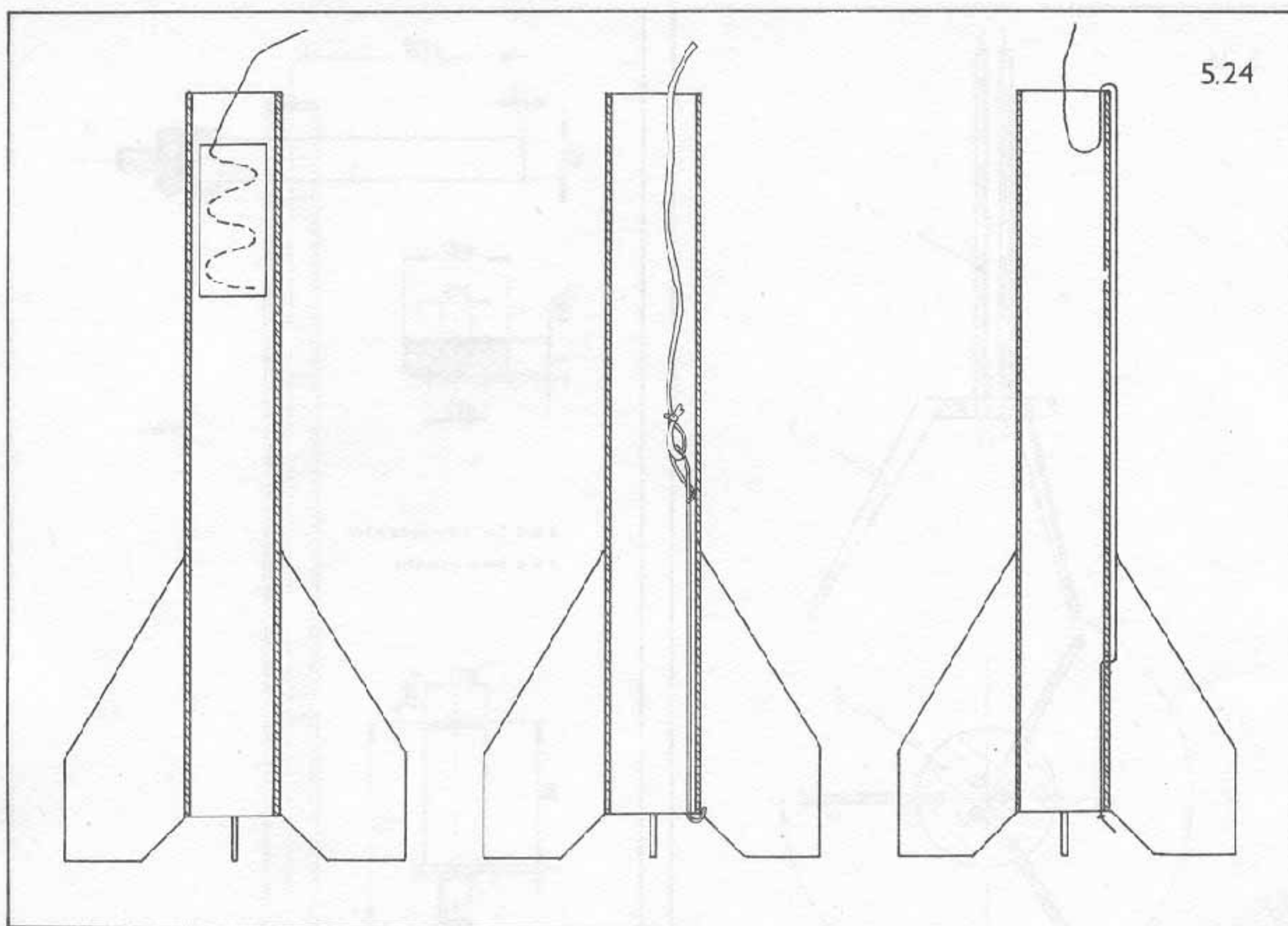
Nad motor vložíme kus vaty nebo zmuchlaného toaletního papíru. Složíme návratné zařízení (streamer nebo padák), zabalíme jej do ochranného papíru a vsuneme volně do trupu. Na něj uložíme nitě případně gumu a zasuneme hlavici. Po takto sestaveném modelu zkontrolujeme polohu hmotového těžiště!

## 5.8. Startovací zařízení

### 5.8.1. Tyčové rampy

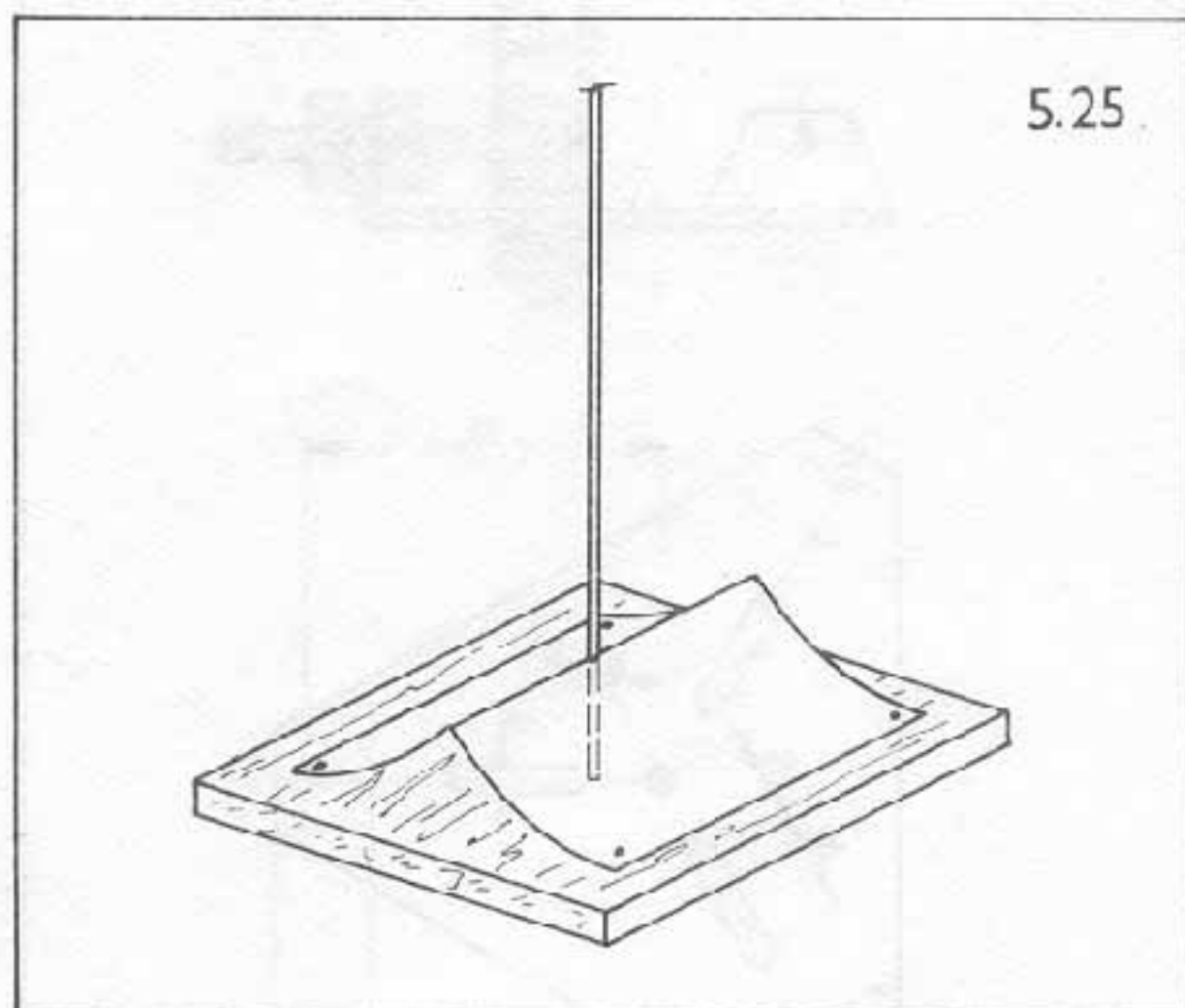
Startování modelů provádíme zásadně ze startovací rampy. Nejjednodušší jsou tyčové rampy o průměru 4 nebo 5mm. (Nejjednodušší je koupit si výrobek „Modela“). Do té doby než model získá rychlost potřebnou ke stabilnímu letu, zajišťuje jeho přímý směr. Proto musí být dostatečně tuhá a vysoká. U malých modelů - do váhy 200g - postačí délka 1000mm, u větších mode-





5.24

lů a maket – do váhy 500g – je již nutná délka asi 2000mm o průměru 8mm. Vzor jednoduché tyčové rampy je na obr. č. 5.25.



5.25

Protože transport dlouhých ramp je obtížný, lze zhotovit tuto rampu skládací. K její výrobě je zapotřebí ocelová trubka o vnějším  $\phi$  8mm a vnitřním  $\phi$  4mm, kterou rozřežeme na potřebné délky (podle kufříku na modely). Do obou konců těchto dílů vyřízneme závit M5 v délce 20mm. Jednotlivé díly jsou spojeny šrouby

M5x40 (bez hlavy), jejichž jeden konec po odmaštění přilepíme Epoxy 1200 do trubky. K této silné rampě není nutné vyrábět základnu jako na obr. č. 5.25, ale postačí její zapíchnutí do země. Ve výšce asi 20cm od země přichytíme kolíček na prádlo, o které opřeme spuštěný model po rampě. Nedojde tak k opálení spodní části modelu.

Z tyčových ramp startujeme modely s vodítky.

#### 5.8.2. Dotykové rampy

Pro dosažení vyšších výkonů při soutěži stavíme modely bez vodítek a k odstartování používáme dotykové rampy se třemi nebo čtyřmi vodicími tyčemi (podle počtu stabilizátorů). Jednoduchá dotyková rampa je na obr. č. 5.26 a lze ji použít pouze na jeden průměr modelů podle rozestavených vodicích tyčí (1), které mohou být z hliníkových trubek o  $\phi$  8 až 10mm a délky 800mm. Základna (2) je z prkénka tloušťky 15mm o  $\phi$  130mm. Z překližky nebo prkénka vyřízneme tři nohy (3), které zalepíme do zářezů v základně.

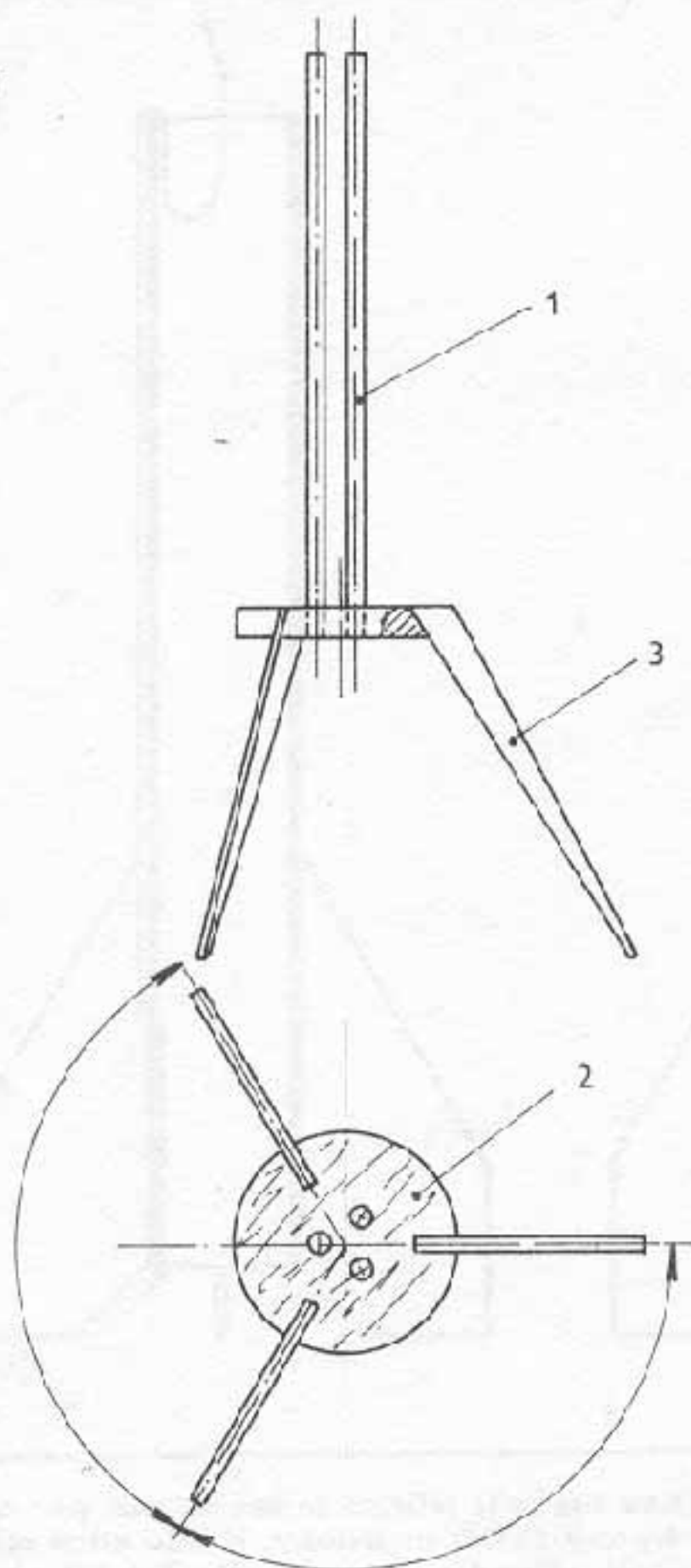
Složitější provedení je na obr. č. 5.27, je však použitelné pro různé průměry raket. Vodicími tyčemi jsou zde hliníkové trubky  $\phi$  16/2. Základna rampy je z ocelového plechu  $s=1,5$ mm, ve které jsou drážky pro šrouby M5 vodicích tyčí. Nahoře jsou upevňovací šrouby vodicích tyčí uchyceny v prstenci z ocelové trubky  $\phi$  130mm. Šrouby je nutné důkladně zajistit ve vodicích tyčích, buď začepováním nebo přilepit Epoxy 1200.

Nastavení rozteče vodicích tyčí se provádí vyšroubováním nebo zašroubováním upevňovacích šroubů vodicích tyčí.

(Obrázky č. 5.26 a 27 jsou na následující straně.)



5.26



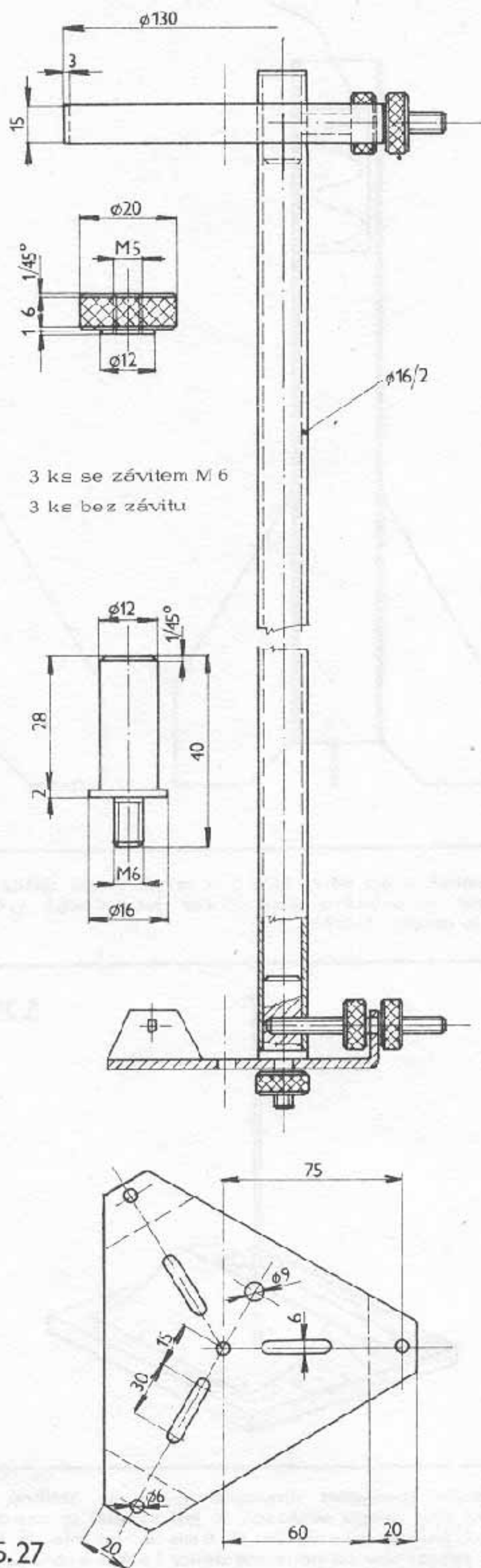
K základně přišroubujeme do otvoru  $\varnothing 9$  trn, který zapíchneme do země.

Na obr. č. 5.28 je konstrukčně nejnáročnější rampa tvořená základnou (1) z umělé hmoty  $s=15\text{mm}$  se třemi slevitelnými nohama. Základna je spojena třemi duralovými trubkami  $\varnothing 10/1,5$   $L=1000\text{mm}$  s vnitřními závity M8 s horním dílem (2). Vodicí tyče jsou duralové trubky  $\varnothing 10/1$ ,  $L=1100\text{mm}$  (mohou být i delší), do nichž jsou výkyvně upevněny šrouby M4. Seřizování na potřebný průměr provádíme maticemi (3), které jsou usazeny ve výřezích dílů 1 a 2. Do dílu 1 lze připojit zařízení k odpálení raket s krokosvorkami.

### 5.9. Odpalovací zařízení

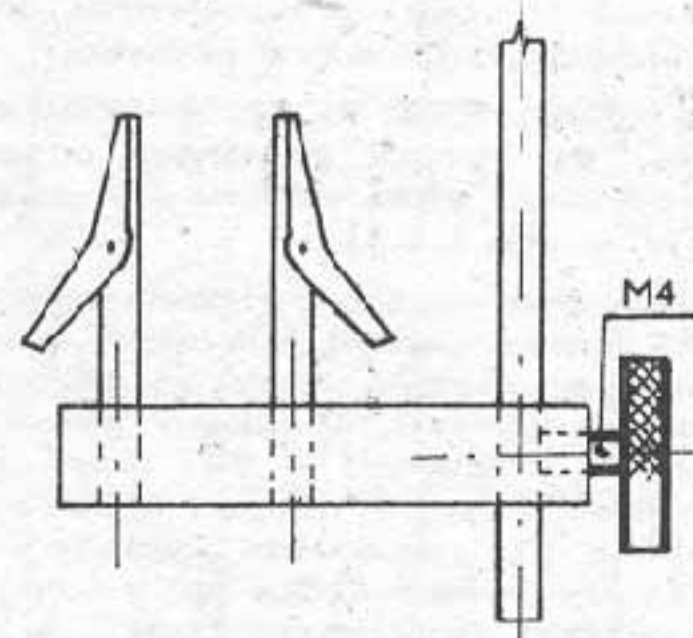
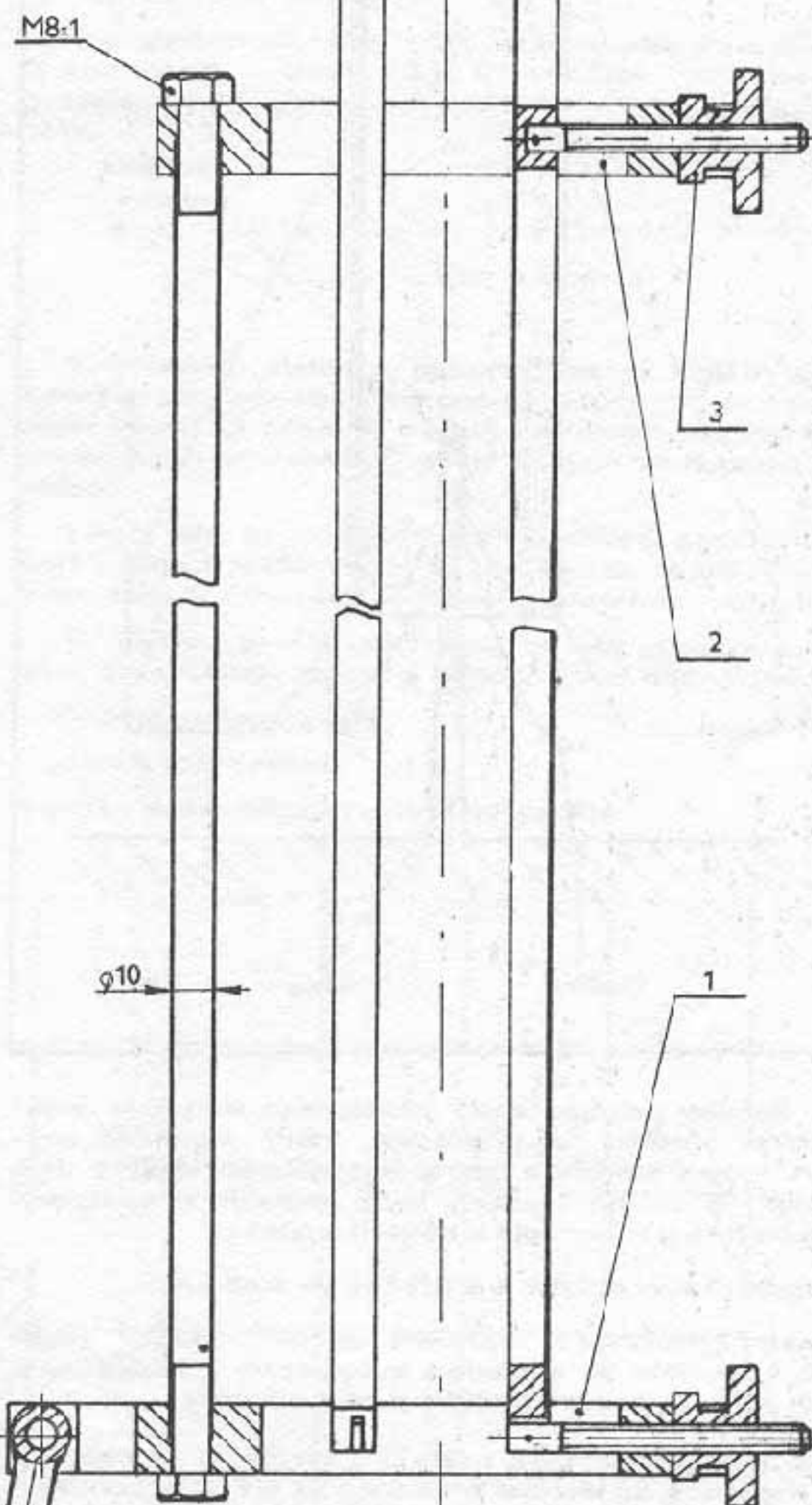
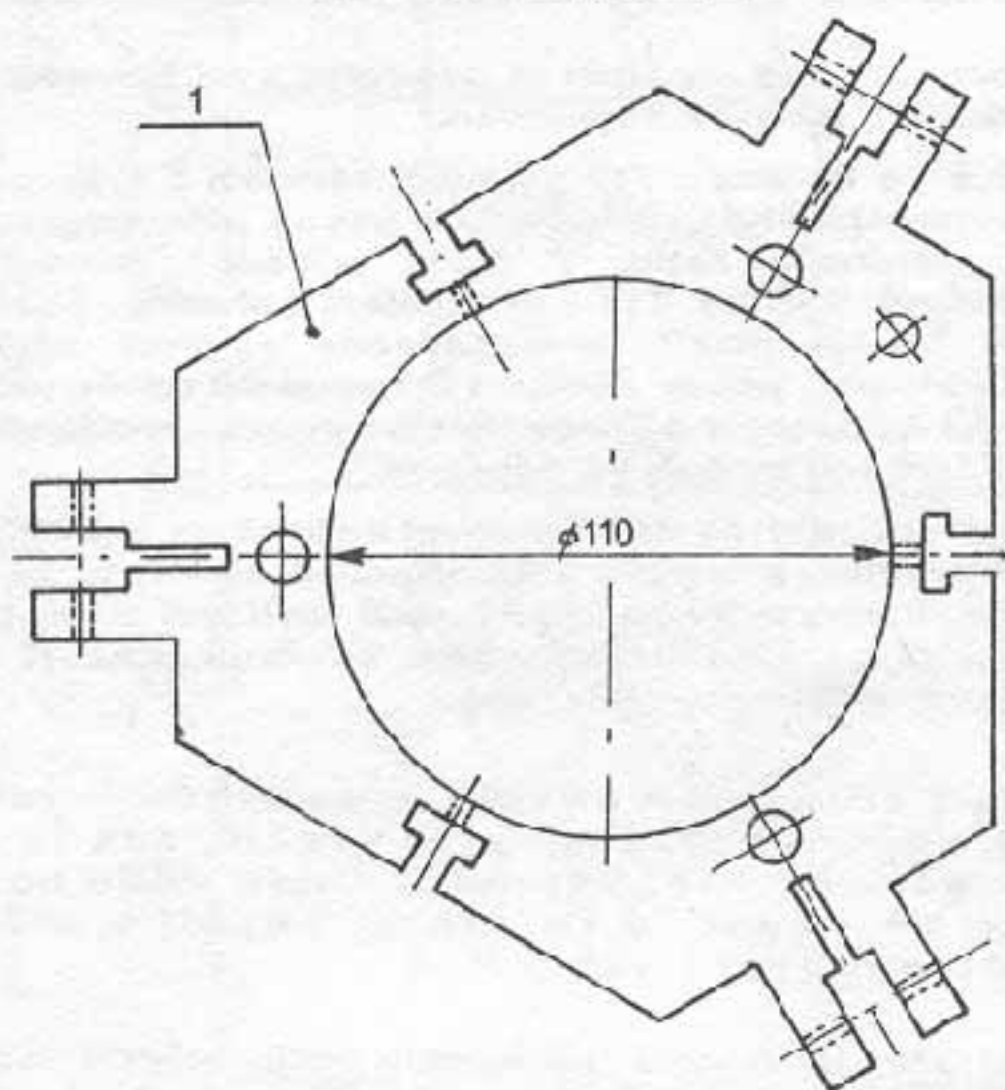
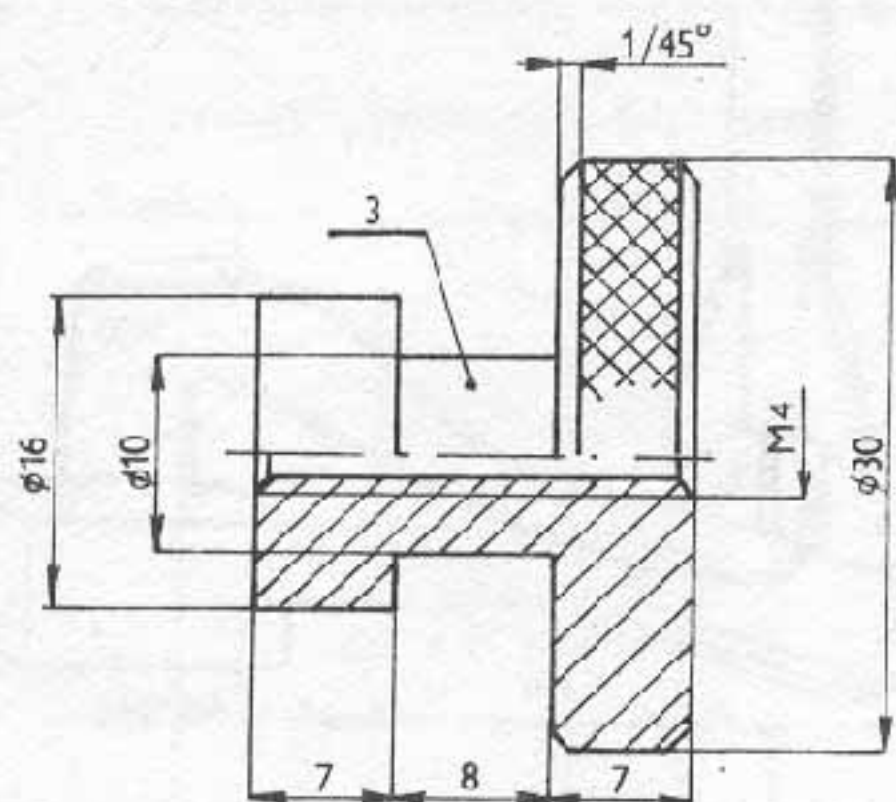
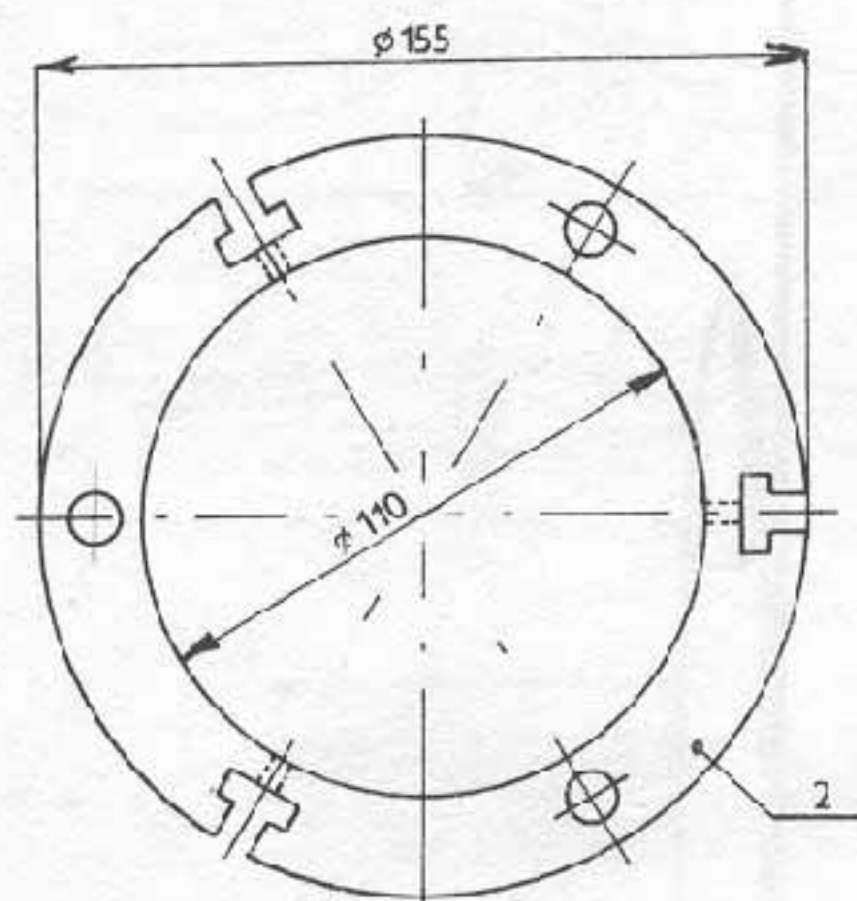
Ke startování raketových modelů používáme zásadně jen elektrický odpalovací systém. Palníky dodává výrobce buď přímo přilepeny k motorům (motory RM) nebo jsou dodány samostatně. Palníky umísťujeme do trysky motoru těsně před startem. Proti vypadnutí jej zajistíme kouskem balsy, který opřeme o rampu obr. č. 5.29 (vahou přívodních kabelů může vypadnout). (Obr. č. 5.29 je na str. 2C.)

Pro odpálení několika motorů současně se používají pyrotechnické palníky, o nichž je pojednání v odstavci



5.27

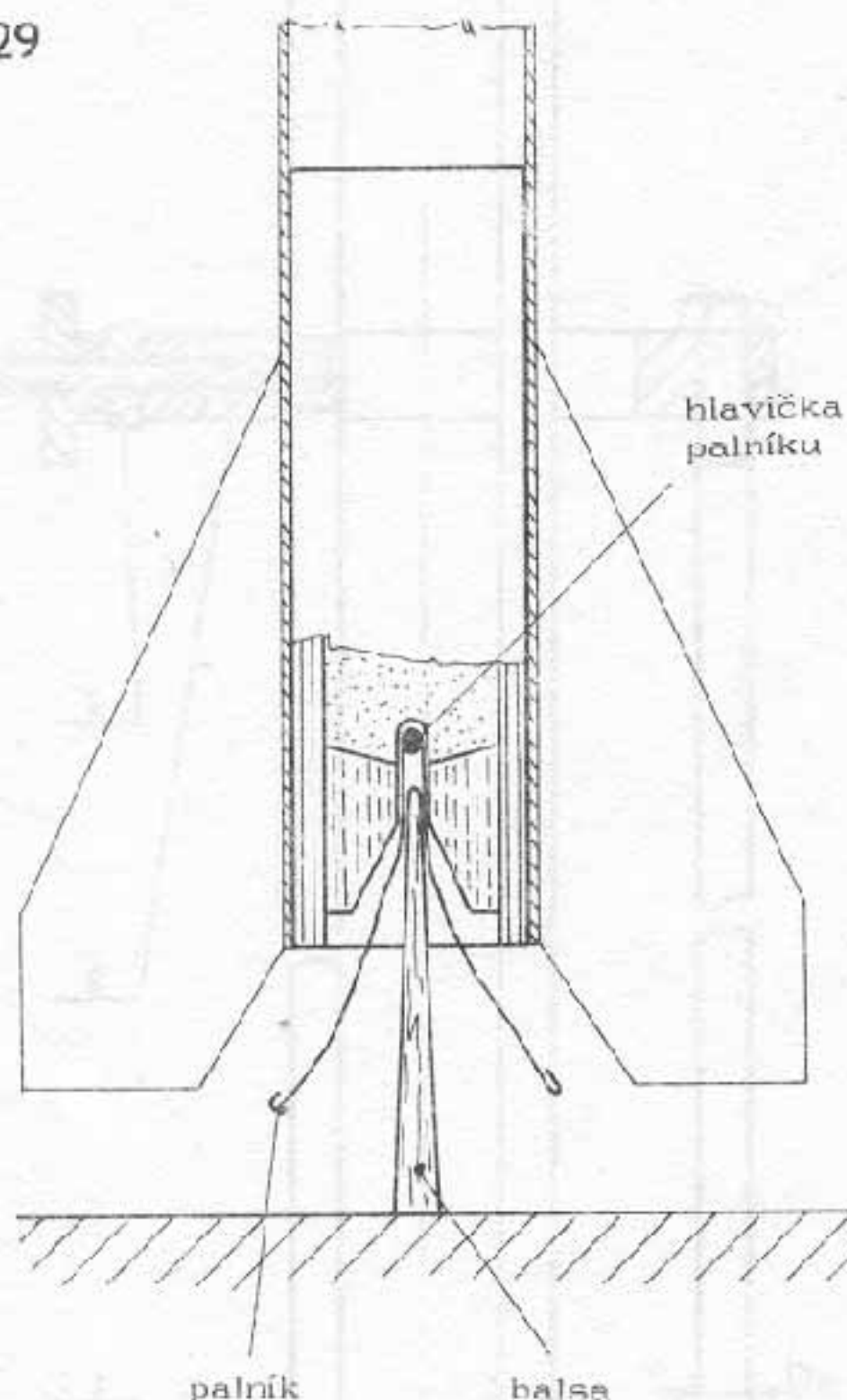




5.28



5.29



6.4.1. Palníky pro současný zážeh více motorů je nutné instalovat předem na přípravek, který odpovídá rozmístění motorů v modelu rakety. Při instalaci musíme dbát na jejich dokonalé spojení, jinak nenastane současný zážeh motorů a může dojít k havárii modelu.

Odpalování 2. stupně je popsáno ve stati 6.4.1.

Vlastní odpalovací zařízení se dá zhotovit podle obr. č. 5.30, kde je základem autobaterie o napětí 12 V, kabely 20 m, zvonkové tlačítko a krokosvorky.

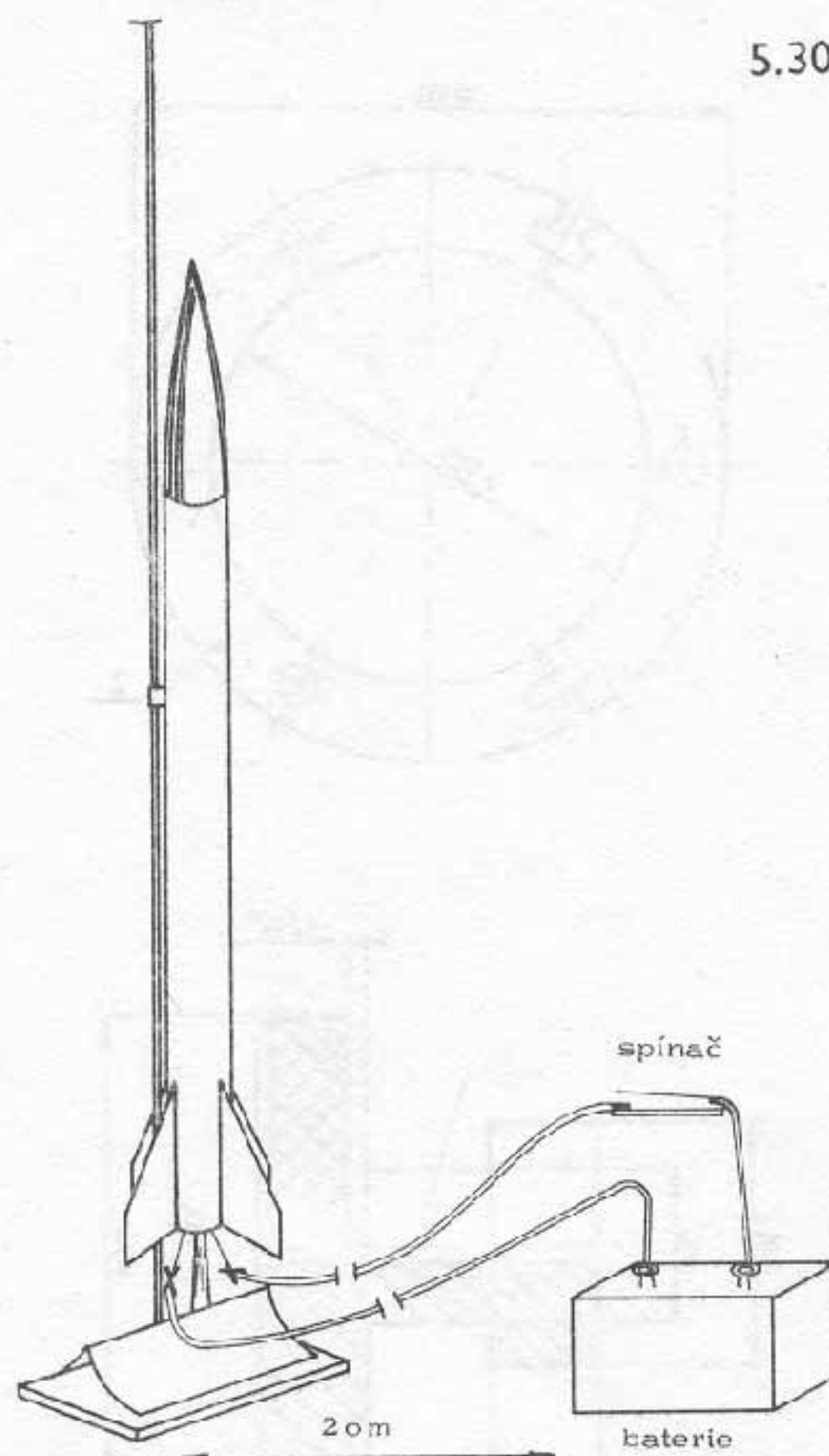
Pro jednotlivce však postačí 3 obyčejné ploché baterie, umístěné do vhodné krabičky, na niž je namontováno zvonkové tlačítko. Z krabičky lze vyvést banánkovými zásuvkami vývody s napojenými kabely, na jejichž druhý konec připojíme krokosvorky.

Pro modelářské kluby a kroužky, které pořádají soutěže, se vyplatí zhotovení odpalovacího zařízení pro více ramp, jehož schéma i s umístěním jednotlivých prvků je na obr. č. 5.31.

Zařízení je opatřeno z boku uzamykatelným vypínačem V1 a zásuvkou Z pro přívod z baterie. Po zapnutí vypínače se rozsvítí kontrolní žárovka Ž1 a je možno kontrolovat palníky. Zkoušený palník se připojuje mezi přístrojové svorky S1 a S2. Když mezi svorkami není palník nebo je špatný, ukáže ručička měřidla M po stlačení tlačítka T11 maximální výchylku. Jestliže je palník bez závad, ukáže ručička asi poloviční výchylku, již je třeba nastavit trimrem R2, který je vyveden na vrchní stranu zařízení. V případě užití jiného měřidla, které má jinou citlivost než 200  $\mu$ A, je třeba změnit hodnotu odporů R2 i R3.

Po zapnutí dvoupólového vypínače V2 se rozsvítí kontrolní žárovka Ž2. Přepínačem ramp se připojí žádaná rampa ke startovacímu zařízení. V případě, že okruh

5.30



zařízení - rampa - palník je uzavřen, svítí žárovka Ž3. Tlačítko T12 slouží k odpalování.

Když se tlačítkem T12 přemostí žárovka Ž3, je možno užít jednopólového vypínače V2 a pouze jednosegmentového přepínače ramp. V tomto případě žárovka Ž3 po stlačení tlačítka T12 při odpálení pohasne. Žárovky Ž1 až Ž3 lze použít ze signalizace telefonní ústředny nebo podobné, pouze žárovka Ž3 musí mít odběr proudu max. 0,1 A, neboť v případě většího proudu protékajícího touto žárovkou by došlo k odpálení.

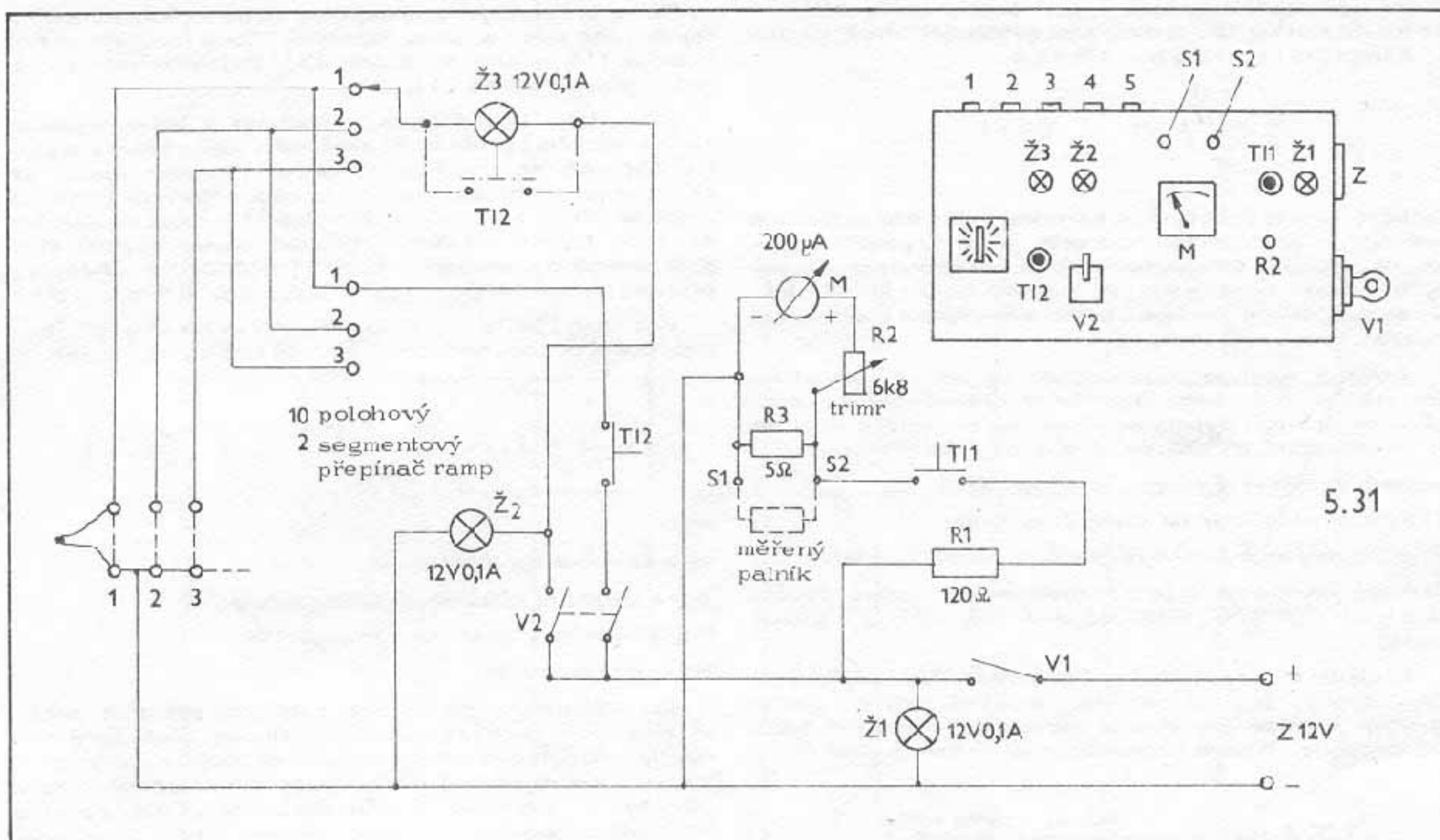
Celé zařízení se dá instalovat do krabice z překližky o rozměrech 600x300x150, případně menší, to již záleží na konstruktérovi, který celé zařízení musí dělat ve spolupráci s elektrotechnikem. Zepředu zařízení jsou zdířky pro připojení až 10 ramp.

Před zapojením kabelů k palníkům v raketě se nejdříve musíme přesvědčit, zda je odpalovací zařízení vypnuto. Jinak může nastat zkrat ve vedení a raketa se odpálí v průběhu připevňování kabelů!

Jestliže jsme vše připravili podle všech návodů a pokynů, nezbyvá nám než odpočítat „5, 4, 3, 2, 1 - start!“

Výkon jistě nebyl špičkový a proto si prostudujeme další kapitoly o motorech, stabilitě a odporu modelu rakety.





5.31

## 6. RAKETOVÉ MOTORY

Raketové modelářství v ČSSR vychází ve své činnosti ze zásady dosahovat maximálních sportovních výkonů se standardními, sériově vyráběnými motorky. V souladu se sportovním řádem CIAM FAI odd. 4b je zakázána jakákoliv úprava motorků, mající za následek změnu jejich výkonů nebo rozměrů. Snahou výrobců je vyrábět motorky na hranici maximálně dovoleného výkonu při zachování bezpečnostní rezervy jejich konstrukce. Za celou dobu existence tohoto branně-technického sportu, organizovaného v rámci Svazarmu, nebyl zaznamenán jediný případ úrazu, který by byl způsoben výbuchem raketového motoru. Díky své bezpečnosti je náš sport schválen a podporován. Jakékoliv porušování bezpečnostních zásad by mohlo jeho existenci ohrozit. Tak tedy ještě jednou: stavíme modely raket ne raketových motorů! To si v amatérských podmínkách nemůžeme dovolit a je to i zakázáno zákonem.

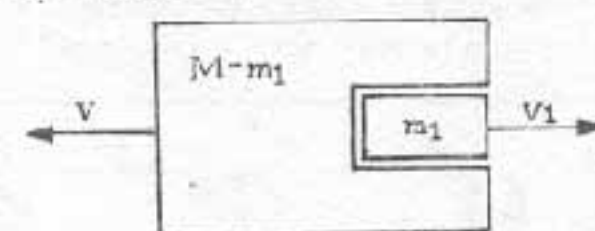
Základní předpisy, týkající se raketomodelářských motorků, jsou obsaženy v „Soutěžních a stavebních pravidlech pro raketové modeláře“ z r. 1978 (včetně

změn z r. 1979 a 1980). Tato stať má rozšířit znalosti modelářů o raketových motorech s ohledem na konstrukci modelů a soutěžní létání.

### 6.1. Základní fyzikální vztahy

Základní fyzikální zákony, jejichž znalost je nutná pro pochopení principu raketového motoru, jsou dobře vysvětleny v Šaffkové knize „Raketové modelářství“<sup>\*)</sup>. Jsou to Newtonovy zákony, zejména pak z nich vyplývající zákon zachování hybnosti: Je-li z nějakého hmotného tělesa o původní hmotnosti  $M$  odhazována jeho část  $m_1$  rychlostí  $v_1$ , dá se toto těleso (o nyníší hmotnosti  $M - m$ ) do pohybu opačným směrem rychlostí  $v$ :

$$(M - m_1) \cdot v = m_1 \cdot v_1$$



Součin hmotnosti a rychlosti je v izolované soustavě konstantní a velikost reaktivního impulzu závisí jediné na tomto součinu, tj. na hybnosti odvrhované hmoty. V případě raketového motoru jde o nepřetržitě odvrhování hmotných částí, tj. molekul plyných a tuhých zplodin hoření velkou rychlostí. Protože je tento děj trvalý, vzniká trvalá reaktivní síla, která způsobí, že se raketa začne pohybovat rovnoměrně se zvětšující rychlostí.

Tah raketového motoru  $F$  je celková reaktivní síla, vyvozená raketovým motorem. Závisí na hmotnostním průtokovém množství spalín  $m$  a na efektivní rychlosti výtoku spalín z trysky  $w_{ef}$ :

$$F = m \cdot w_{ef} \quad (N) \quad (1)$$

<sup>\*)</sup> viz seznam použité literatury



Výkon raketového motoru vyjadřujeme pomocí celkového impulzu  $I_c$ . V diagramu závislosti tahu  $F$  na době hoření je to plocha pod křivkou:

$$(2) \quad I_c = \int_0^t F \cdot dt \quad (N \cdot s)$$

Celkový impulz raketového motoru, vyjádřený v Newton sekundách, je důležitou hodnotou pro jeho použití v příslušné soutěžní kategorii. Pravidla pro zkoušení raketových motorů předepisují, že celkový impulz kteréhokoli ze zkoušených motorů nesmí přesáhnout stanovenou hodnotu o více než 10%.

Zdrojem energie raketového motoru je chemická energie pohonné hmoty, která se při chemických reakcích mění na energii tepelnou. Tepelná energie spalín se při výtoku plynů tryskou mění na energii mechanickou.

Schéma uvolňování energie je následující:

- rozklad sloučenin na atomy či radikály
- slučování atomů nebo radikálů na molekuly spalín.

Celková uvolněná tepelná energie se rovná součtu všech uvolněných nebo zahavených energií dílčích reakcí.

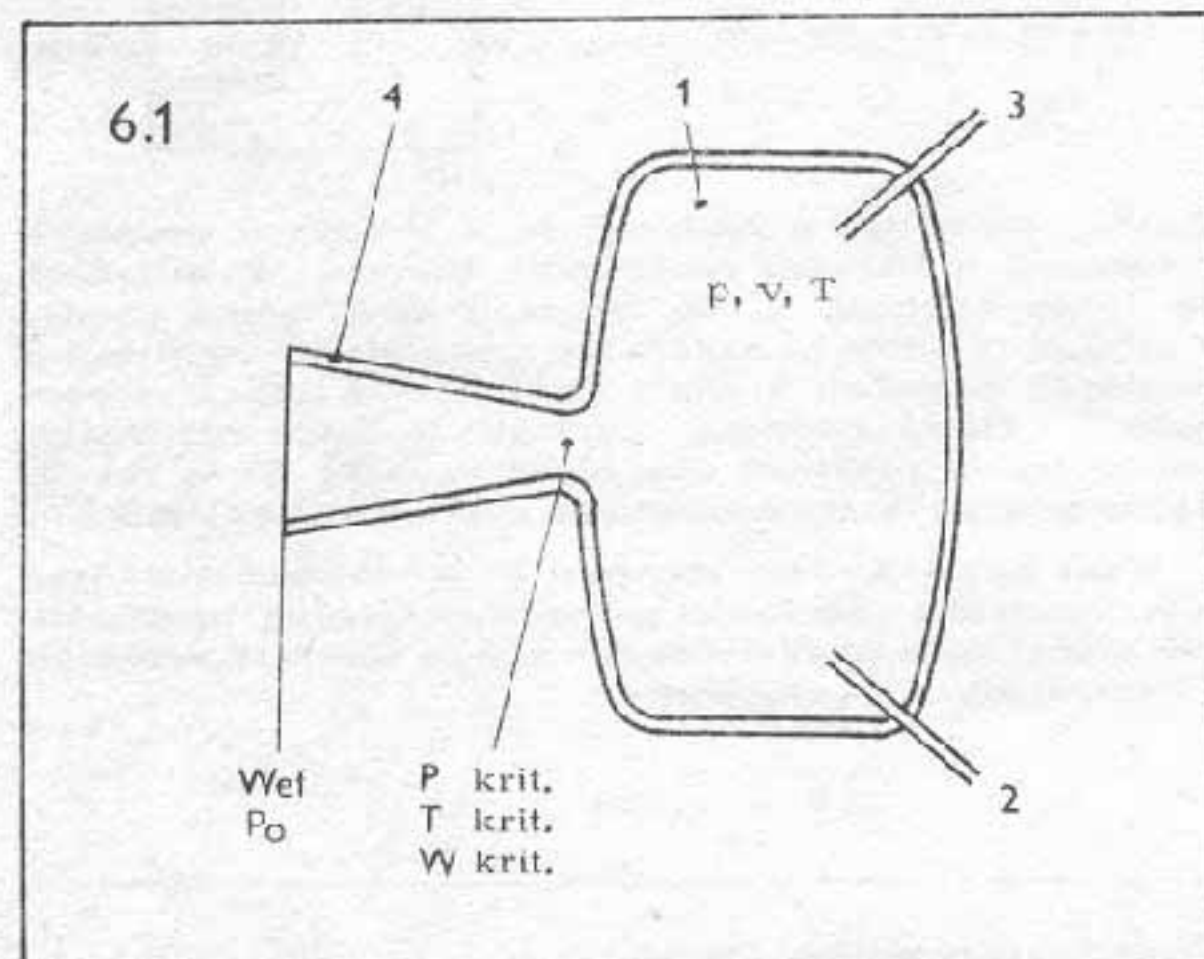
Základním požadavkem na pohonnou látku (zkráceně PH) je tedy její co největší spalné teplo. Podle stavové rovnice pro ideální plyn platí, že součin tlaku  $p$  a objemu  $v$  plynu je konstantní a je úměrný teplotě  $T$ :

$$(3) \quad p \cdot v = R \cdot T \quad R \dots \text{konstanta úměrnosti, plynová konstanta}$$

Objem  $v$  vnitřního prostoru spalovací komory je neměnný (to platí ovšem jen pro kapalinové motory, u motorů s tuhým pohonnou hmotou - TPH - se objem zvětšuje s uhoříváním TPH). Potom platí, že tlak v komoře závisí pouze na teplotě. Na hodnotě poměru tlaku v komoře a tlaku v ústí trysky pak závisí výtoková rychlost spalín.

Je třeba zdůraznit, že stavová rovnice (3) platí plně pouze pro tzv. ideální plyn. Závislost tlaku na teplotě bude tím nižší, čím méně budou spaliny tuto podmínku splňovat. Budou-li spaliny obsahovat částice v tuhém nebo kapalném stupni, bude při dané teplotě tlak nižší, než u spalín tvořených převážně plynnými molekulami.

Kromě požadavku plynného stupně musí spaliny ještě splňovat řadu dalších často protichůdných požadavků, které souhrnně nazýváme „dobré termodynamické vlastnosti“.



Na obr. č. 6.1 je znázorněno schéma kapalinového raketového motoru, jehož hlavními částmi jsou spalovací komora (1) s přívody paliva (2), okysličovadlo (3) a rozšiřující se tryska (4).

Při výtoku spalín tryskou dochází v jejím nejužším (tzv. kritickém) průřezu ke snižování jejich tlaku a teploty. Zároveň se zvyšuje výtoková rychlost spalín až na hodnotu rychlosti zvuku v daném prostředí (kritická rychlost  $W_{krit}$ , asi  $1000-1200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). V další rozšiřující se části trysky výtoková rychlost vlivem rázové vlny dále stoupá a dosahuje maximální hodnoty ve výstupním průřezu trysky (efektivní výtoková rychlost:  $W_{ef}$ ).

Pro ideální konečnou rychlost rakety (bez uvažování odporu vzduchu) odvodil Ciolkovskij vztah:

$$v_k = W_{ef} \cdot \ln \frac{M_k + M_{PH}}{M_k} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

kde:

$v_k$  = konečná rychlost rakety

$W_{ef}$  = efektivní výtoková rychlost spalín

$M_k$  = hmotnost rakety po vyhoření PH

$M_{PH}$  = hmotnost PH

Kromě požadavku co největší výtokové rychlosti spalín je tedy pro konečnou rychlost rakety důležitý poměr startovní hmotnosti rakety a hmotnosti rakety po vyhoření PH. Z toho je zřejmé i výhodnost více stupňové rakety, kde se oddělováním stupňů dosahuje nízké konečné hmotnosti rakety  $M_k$ .

Výkon raketových pohonných hmot vyjadřujeme pomocí specifického impulzu  $I_{sp}$ . Je to poměr celkového impulzu raketového motoru a hmotnosti PH:

$$I_{sp} = \frac{I_c}{M_{PH}} \quad \left[ \frac{Ns}{kg} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{kg} = \frac{m}{s} \right] \quad (5)$$

Specifický impulz má v soustavě SI rozměr  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , je tedy totožný s efektivní výtokovou rychlostí  $W_{ef}$ .

Specifický impulz je dán vlastnostmi PH. Kromě toho závisí na konstrukci motoru (poměr tlaků, tvar trysky). V raketomodelářských motorcích se pohybuje v rozmezí  $500-800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  u TPH na bázi černého prachu,  $1200-1600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  u TPH použité v motorcích FW a  $1800-2000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  u TPH na bázi chloristanu amonného. U skutečných raketových motorů s TPH se dosahuje  $1800-2500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , u kapalinových raketových motorů  $2300-3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , teoreticky je možné dosáhnout s chemickými palivy až  $4000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

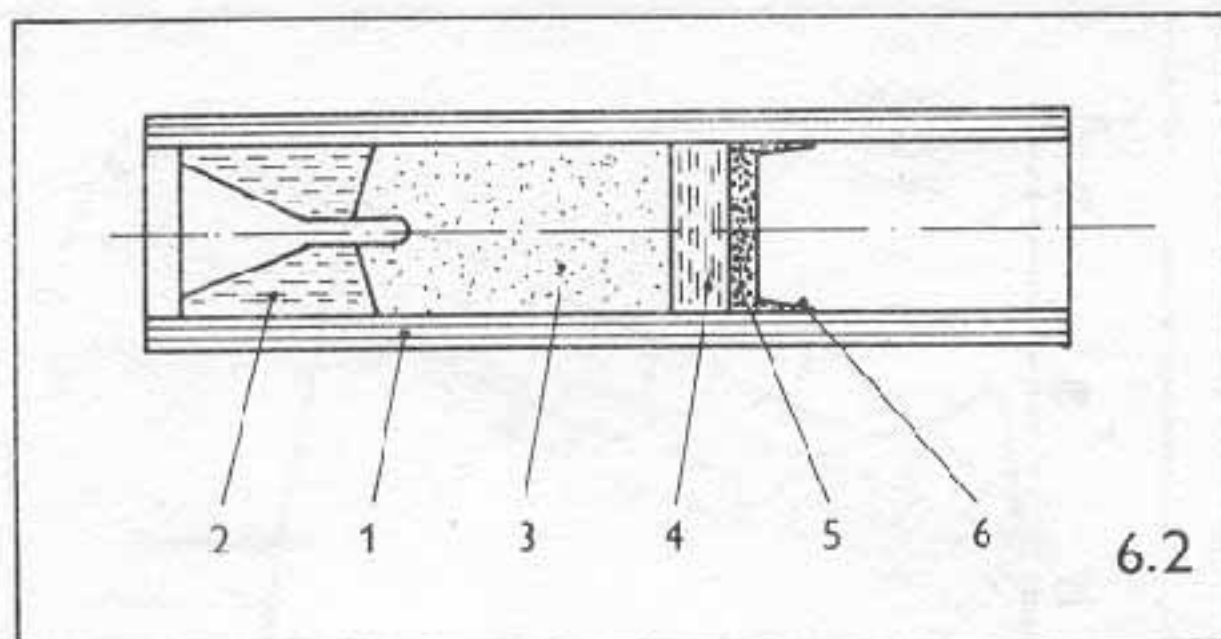
## 6.2. Konstrukce raketových motorů

Sportovní řád FAI povoluje pouze nekovové motorky na TPH, pro jejich jednoduchost a bezpečnost při používání v amatérských podmínkách. Podle druhu rozeznáváme TPH:

- na bázi černého prachu
- koloidální, tj. na bázi nitrocelulózy želatinované nitroestery (v modelářských motorcích se nepoužívají)
- kompozitní, tj. na bázi anorganických okysličovadel (vysokovýkonné motorky pro zkušené modeláře)

Na obr. č. 6.2 je schéma motorku s TPH z lisovaného černého prachu. (1 - papírová trubka; 2 - lisovaná keramická tryska; 3 - TPH s kuželovou zážehovou dutinou, 4 - zpožďovací slož; 5 - výmetná náplň; 6 - krytka).





Aby TPH uhořívala od povrchu postupně a rovnoměrně (tj. s konstantním hořícím povrchem) je nutné, aby prachový výlisek měl konstantní chemické složení zcela homogenní strukturu bez pórů a aby byl dokonale spojen se stěnou trubky. Toho se dosahuje lisováním na vysokou hutnotu, u černého prachu minimálně  $1820 \text{ kg m}^{-3}$ . K dosažení takové hodnoty je u motorků ZVS RM zapotřebí celkové lisovací síly  $33000 \text{ N}$ . Je zřejmé, jak vysoké musí být nároky na materiál papírových trubek, nářadí a na celou technologii výroby.

Jak vyplývá z rovnice (1), je tah motoru přímo úměrný hmotnostnímu průtokovému množství spalin  $m$  a to se podle zákona o zachování hmoty rovná hmotnostnímu úbytku TPH. Hmotnostní úbytek TPH  $G$  za dobu hoření  $t$  je úměrný velikosti hořícího povrchu  $F$  ( $\text{m}^2$ ) a rychlosti hoření  $\mu$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ):

$$(6) \quad \frac{G}{t} = F \cdot \mu \cdot \gamma \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$\gamma$  ... specifická hmotnost TPH ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

Rychlost hoření TPH závisí na fyzikálně chemickém složení TPH, na počáteční teplotě a na tlaku v komoře.

Vliv počáteční teploty v rozmezí klimatických podmínek je značný a vede k významným rozdílům tahu motorků.

Vliv tlaku na rychlost hoření TPH je vyjadřována empirickými vzorci např.  $\mu = a + b \cdot p^n$ , kde  $a$ ,  $b$ ,  $n$  jsou konstanty,  $p$  = tlak.

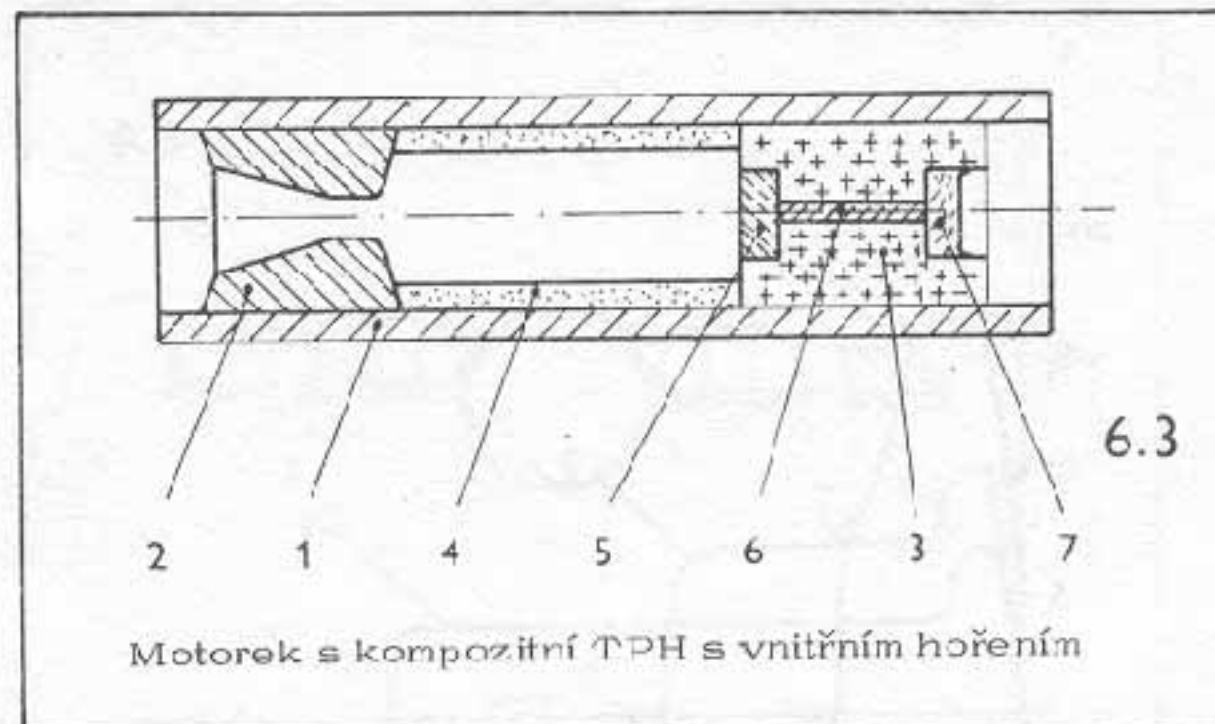
Tlak v komoře je závislý na konstrukci motorku, zejména na tzv. zahrazení, tj. na poměru kritického průřezu trysky a průřezu komory. Při dané konstrukci motorku bude pak záviset na velikosti hořícího povrchu. Jakékoliv neočekávané zvětšení hořícího povrchu vede k okamžitému zvětšení tlaku v komoře, což vede ke zvýšení rychlosti hoření a v konečném důsledku vede k destrucci motorku.

Při vyšším tlaku v komoře se zvětšuje specifický impulz TPH. U kompozitních TPH je nutno zajistit určitou minimální hodnotu tlaku, aby bylo dosaženo pravidelného hoření bez pulzace. Zajistit potřebnou konstrukční pevnost je zde ještě obtížnější.

Rychlost hoření TPH typu černého prachu je asi  $18 \text{ mm.s}^{-1}$ , u TPH v motorcích FW 20 –  $24 \text{ mm.s}^{-1}$ . U kompozitních TPH s chloristanem amonným, používaných v amerických motorcích Enerjet a SSRS, je rychlost hoření okolo  $6 \text{ mm.s}^{-1}$ . Potřebné hmotnostní průtokové množství se zde získává pomocí velkého hořícího povrchu TPH, který se při hoření dále zvětšuje. Na obr. č. 6.3 je znázorněn řez takovým motorkem.

1 – sklolaminátová trubka; 2 – grafitová tryska; 3 – grafitové dno; 4 – TPH ve tvaru trubky, vlepené do komory; 5 – zažehovač; 6 – lisovaná zpoždovací slož; 7 – výmotná náplň.

Motorek se odpaluje vloženou rychlehořící zápalnicí.



Motorek s kompozitní TPH s vnitřním hořením

### 6.3. Typy raketomodelářských motorků, označení, technické údaje

Výkon raketového motorku, vyjádřený jako celkový impulz  $I_c$  (Ns) (viz rovnice 2), zjistíme vyhodnocením diagramu závislosti tahu na době hoření. Měřicí zařízení pracuje tak, že tah raketového motorku působí na pružnou membránu s tenzometry. Změna elektrického napětí na tenzometrech se zesiluje a registruje v zapisovači s časovou základnou. Jestliže zjistíme hodnotu  $I_c$  dle doby tahu motorku  $t$ , dostaneme hodnotu středního tahu  $P_{stř}$ :

$$P_{stř} = \frac{I_c}{t} \quad [N] \quad (7)$$

Střední tah ve vztahu ke startovní hmotnosti modelu tvoří důležitý údaj pro posouzení bezpečnosti modelu.

Americké motorky jsou označovány velkým písmenem udávajícím celkový impulz od A (2,5Ns) do E (80Ns) a dvěma čísly, z nichž první udává hodnotu středního tahu  $P_{stř}$  (N), druhé dobu hoření zpoždovací slož. Stejným způsobem jsou označeny československé motorky produkce RMK Dubnice nad Váhom s tím rozdílem, že poslední číslo znamená celkovou dobu hoření od zážehu po výmet.

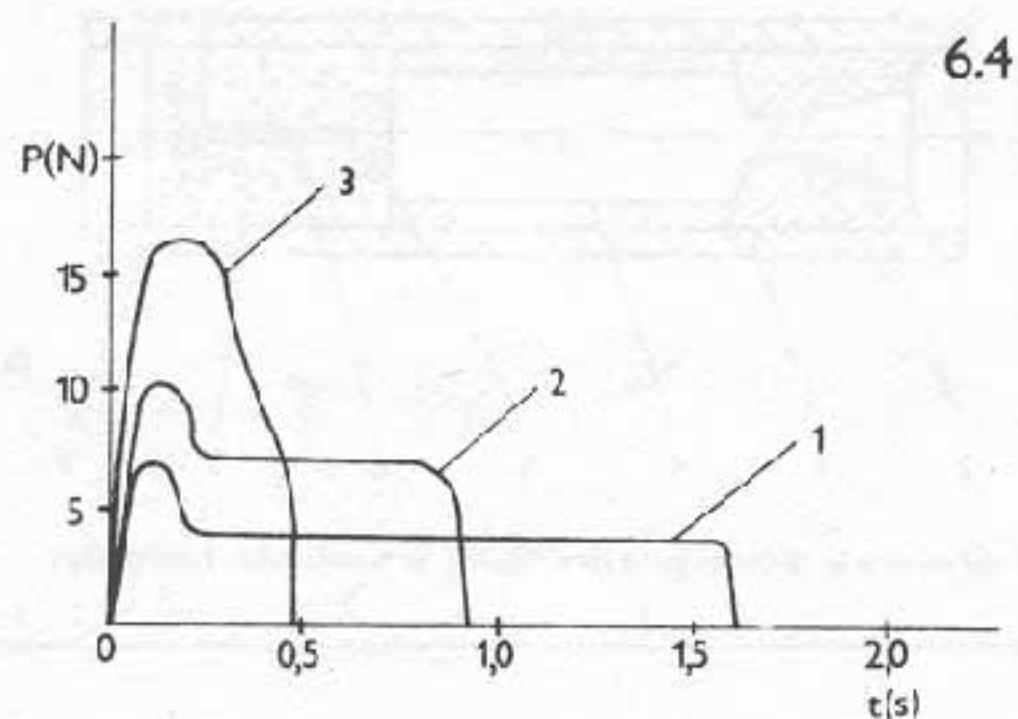
Podle celkového impulzu (Ns) se motorky rozdělují do tříd: do 2,50; 2,51–5,00; 5,01–10,00; 10,01–20,00; 20,01–40,00; 40,01–80,00. Evropské motorky jsou označovány trojčísly, kde první číslo udává celkový impulz (Ns), druhé číslo hodnotu maximálního tahu (kp) a třetí číslo celkovou dobu od zážehu po výmet.

Křivky diagramu závislosti tahu na době hoření TPH (obr. č. 6.4) odpovídají průřezu komory, který je u MM B2,5 – 5 roven  $10,2 \text{ mm}$  a u obou dalších motorků  $12,6 \text{ mm}$ . Motorek Estes B14–5 má však velmi rozměrnou zážehovou dutinu, takže povrch hoření je značně větší, než odpovídá průřezu komory. Hmotnost TPH je ve všech třech případech stejná – asi  $6 \text{ g}$ , plochy pod křivkami jsou stejné a tedy je i celkový impulz přibližně stejný, do 5,0Ns.

Na obr. č. 6.5 je znázorněn průběh hoření amerického motorku Enerjet E29–10, s kompozitní TPH na bázi chloristanu amonného. Během hoření se hořící povrch zvětšuje a tah úměrně vzrůstá.

V tabulkách jsou uvedeny technické údaje československých motorků, vyráběných v ZVS k.p. Dubnice nad Váhom a v RMK Dubnice nad Váhom. Udávané hodnoty  $I_c$  jsou maximální, skutečně dosahované hodnoty jsou o 20–30%, resp. o 5–20% nižší. V porovnání se sortimentem světových výrobců je výběr typů motorků pro potřeby naší reprezentace dostatečně široký. Chybí nám motorek 40Ns s dlouhou dobou tahu, „Superteřík“





- 1 - MMB 2,5 - 6  
2 - ZVS RM 5 - 1,2 - 5  
3 - ESTES B 14 - 5

Diagram P/t motorů s čelním hořením TPH

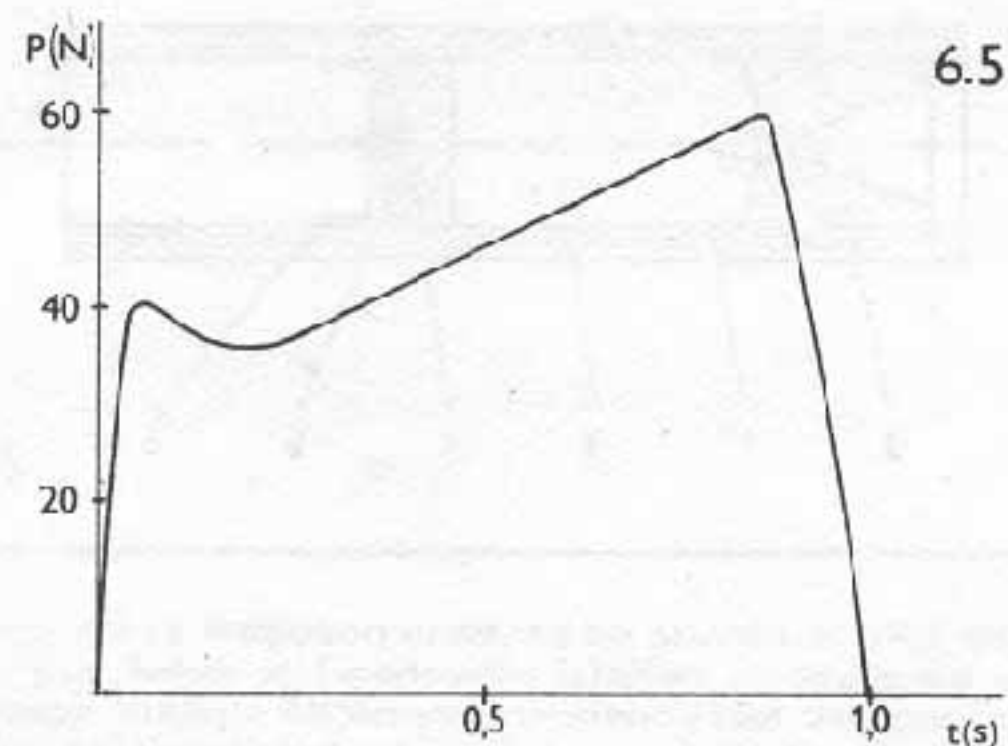


Diagram P/t motorků s vnitřním hořením TPH  
ve tvaru trubky (ENERJET E 29 - 10)

motorky 2,5Ns jsou ve stadiu vývoje. Na druhé straně však jsou motorky řady F.W. světovým unikátem.

#### Přehled československých raketových motorků

Raketové motorky RM, vyráběné v ZVS k.p. Dubnica nad Váhom

Tabulka technických dat raketových motorů RM

obr. č. 6.6 tabulka

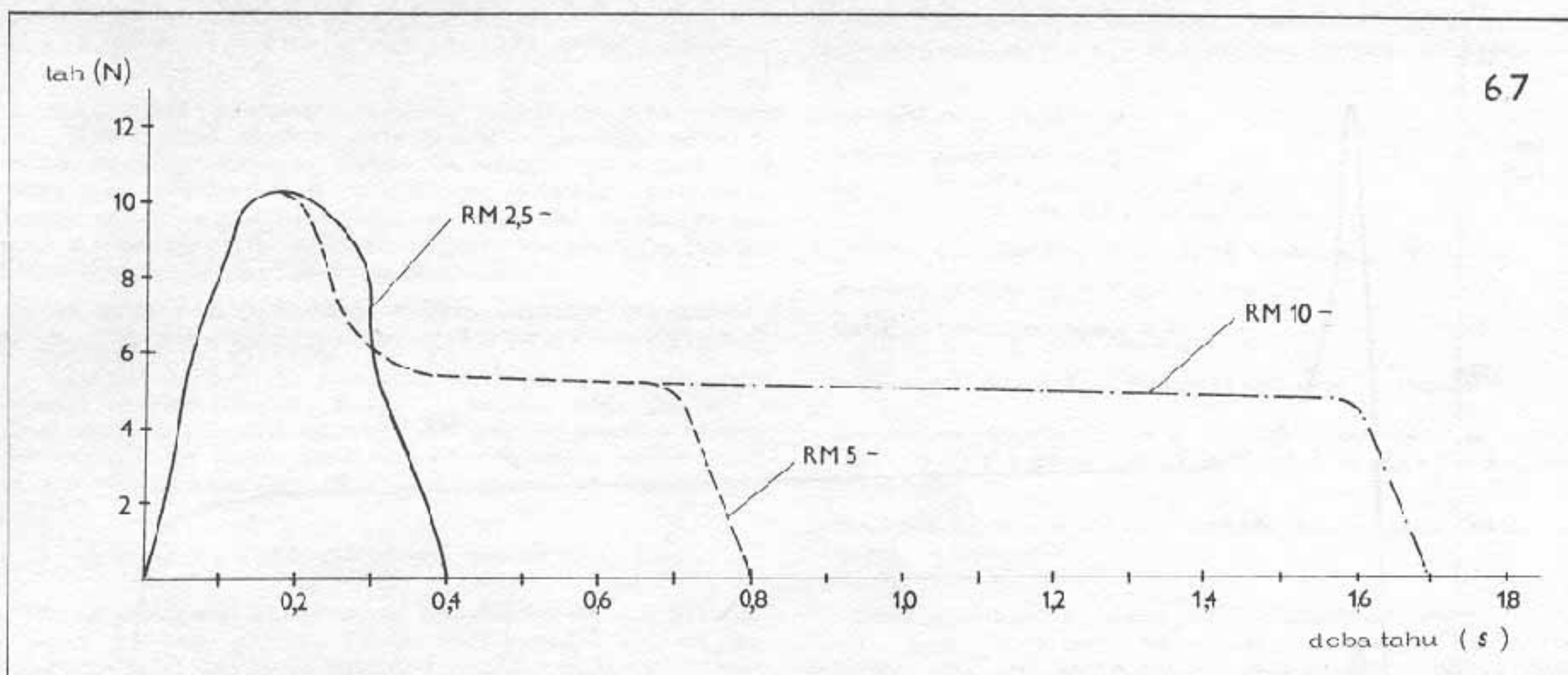
obr. č. 6.7 diagram

označení motoru	celk. impuls	max. tah	střední tah	doba tahu	celková doba hoření	start. hmotn.	hmotnost THP	délka	φ
	(Ns)	(N)	(N)	(s)	(s)	(g)	(g)	(mm)	(mm)
RM 2,5-1,2-3	2,5	10,4	min. 3,5	0,3 - 0,5	2,3 - 3,8	14	3,0	55	17,6
RM 5-1,2-0	5,0	10,4	min. 3,5	0,65 - 1	0,65 - 1	17	5,0 - 5,8	55	17,6
RM 5-1,2-3	5,0	10,4	min. 3,5	0,65 - 1	2,5 - 4,0	18	5,0 - 5,8		
RM 5-1,2-5	5,0	10,4	min. 3,5	0,65 - 1	4,0 - 6,0	18	5,0 - 5,8		
RM 10-1,2-0	10,0	10,4	min. 3,5	1,5 - 1,8	1,5 - 1,8	21	10 - 11	64	17,6
RM 10-1,2-4	10,0	10,4	min. 3,5	1,5 - 1,8	3,5 - 4,5	22	10 - 11		
RM 10-1,2-7	10,0	10,4	min. 3,5	1,5 - 1,8	5,0 - 7,0	22	10 - 11		

Motory mají bílé trysky.

Motory byly testované a schválené ÚR Modelářství Svazarmu ČSSR a vyhovují sportovnímu kódu FAI odd. 4b.





Raketové motorky MM a DS, výrobce RMK Svazarmu Dubnica nad Váhom

Tabulka technických dat raketových motorů MM a DS

obr. č. 6.8 tabulka obr. č. 6.9 diagram

označení motoru	celkový impuls	max. tah	střední tah	doba tahu	celková doba hoření	start. hmotn.	hmotr. THP	délka	φ
	(Ns)	(N)	(N)	(s)	(s)	(g)	(g)	(mm)	(mm)
MM A 2,5-0	2,5	6	2,5	0,9	0,9	7,0	3,2	50	13,2
MM A 2,5-4	2,5	6	2,5	0,9	4,0	7,4	3,2		
MM A 2,5-5	2,5	6	2,5	0,9	5,5	7,8	3,2		
MM A 2,5-8	2,5	6	2,5	0,9	7,5	8,2	3,2		
MM B 2,5-0	5,0	6	2,5	1,7	1,7	10,2	6,0	65	13,2
MM B 2,5-4	5,0	6	2,5	1,7	4,5	10,6	6,0		
MM B 2,5-6	5,0	6	2,5	1,7	6,5	11,3	6,0		
MM B 2,5-10	5,0	6	2,5	1,7	9,5	11,5	6,0		
DS D 6-0	20,0	14	6	2,7	2,7	41,0	23,5	96	20,4
DS D 6-5	20,0	14	6	2,7	5,0	42,0	23,5		
DS D 6-8	20,0	14	6	2,7	8,5	43,0	23,5		

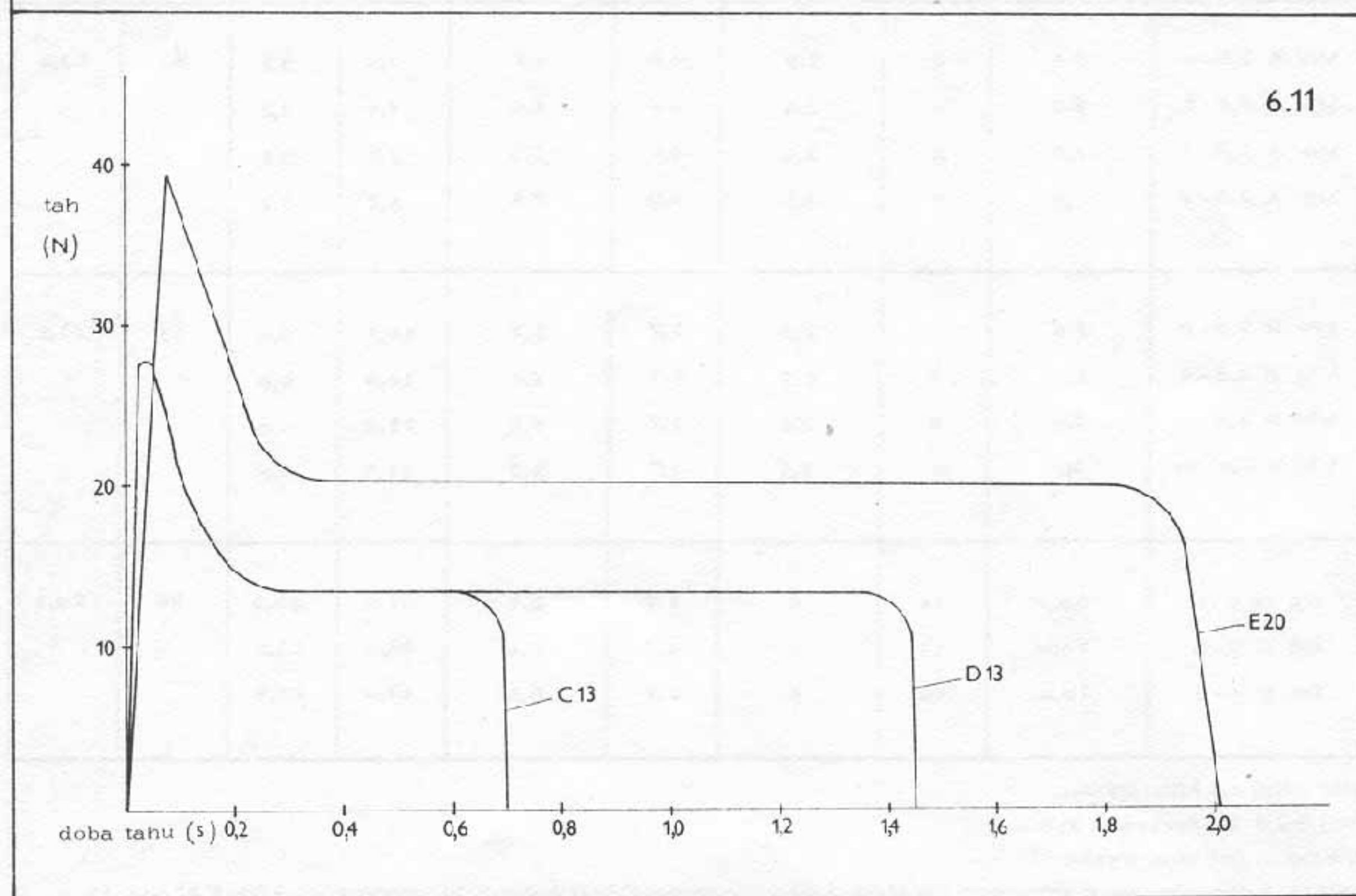
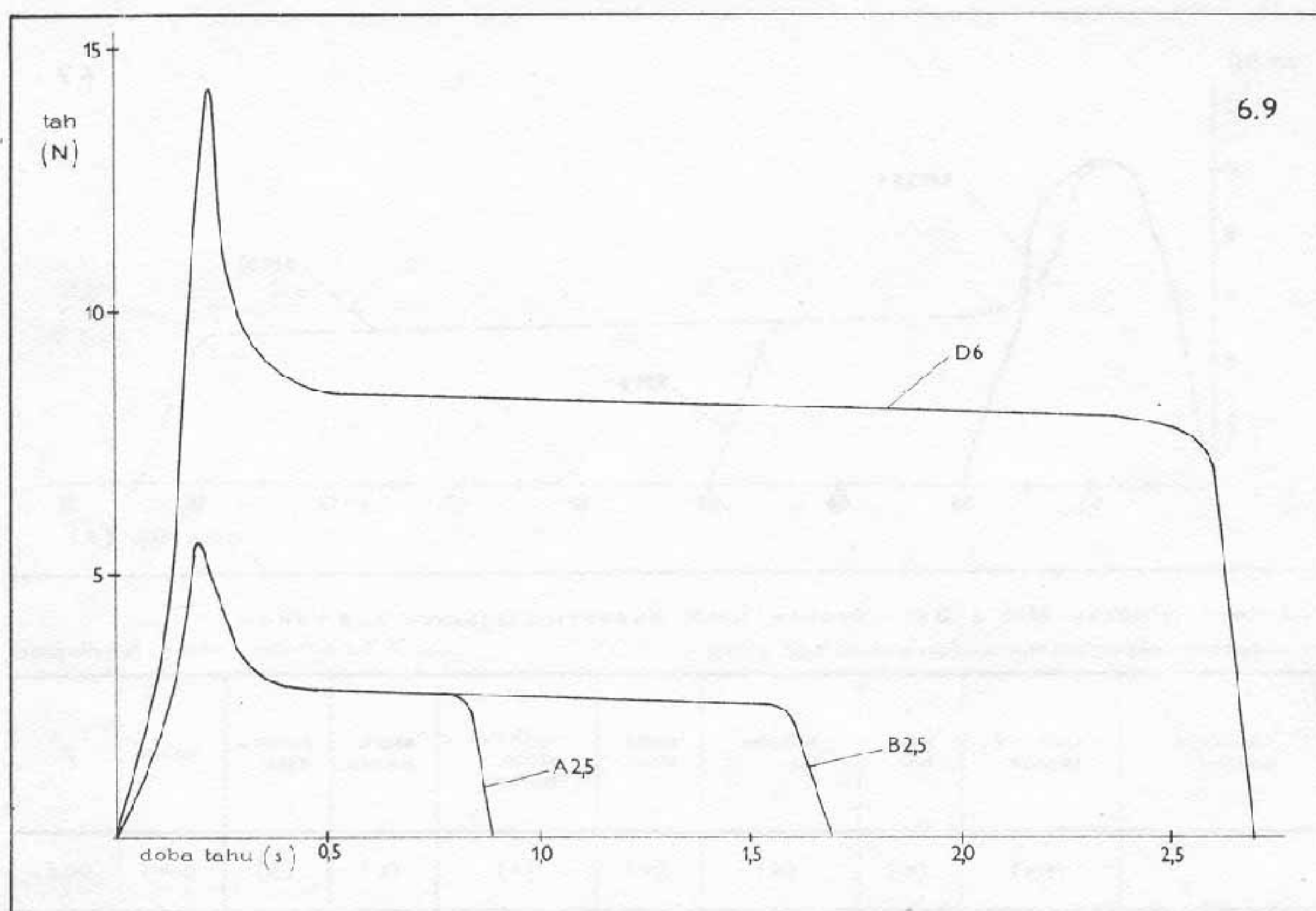
MM A 2,5 má bílou trysku

MM B 2,5 má červenou trysku

DS D6 má bílou trysku

Motory byly testované a schválené ÚR Modelářství Svazarmu ČSSR a vyhovují sportovnímu kódu FAI odd. 4b.







Tabulka technických dat raketových motorů FW

označení motoru	celkový impuls	max. tah	střední tah	dobu tahu	celková doba hoření	start. hmotn.	hmotn. THP	délka	φ
	(Ns)	(N)	(N)	(s)	(s)	(g)	(g)	(mm)	(mm)
FW C 13-0	10,0	28	13	0,70	0,70	20,5	7,0	75	17,6
FW C 13-4	10,0	28	13	0,70	4,0	21,0	7,0		
FW C 13-6	10,0	28	13	0,70	5,5	21,5	7,0		
FW C 13-9	10,0	28	13	0,70	8,5	21,5	7,0		
FW D 13-0	20,0	28	13	1,45	1,45	26,0	13,5	75	17,6
FW D 13-4	20,0	28	13	1,45	4,0	26,5	13,5		
FW D 13-7	20,0	28	13	1,45	7,0	27,0	13,5		
FW D 13-10	20,0	28	13	1,45	9,5	27,0	13,5		
FW E 20-0	40,0	37	20	2,0	2,0	45,5	28,0	96	20,4
FW E 20-4	40,0	37	20	2,0	4,5	46,5	28,0		
FW E 20-8	40,0	37	20	2,0	8,5	48,0	28,0		

FW C 13 má bílou trysku

FW D 13 má červenou trysku

FW E 20 má modrou trysku

Motory byly testované a schválené ÚR Modelářství Svazarmu ČSSR a vyhovují sportovnímu kódu FAI odd. 4b.

Nejvíce raketových motorků se vyrábí v USA u firem Estes, Centuri, AVI, MPC, COX. Motorky v silnějších třídách vyrábějí firmy Enerjet, SSRS, FSI. Závod ZVS k.p. Dubnica nad Váhom začal sériovou výrobu motorků RM jako první v Evropě již v r. 1965. Odborná skupina RMK Svazarmu v tomto závodě vyvíjí a v malých sériích vyrábí motorky MM, DS a FW s určením pro potřeby vrcholového a výkonnostního sportu. Dnes se vyrábějí motorky více-méně nepravidelně v PLR, RSR, SFRJ. V posledních letech se za účinné podpory ústředních orgánů rozběhla sériová výroba v BLR a SSRS, jejichž motorky dnes dosahují špičkové úrovně.

#### 6.4. Praktické používání raketomodelářských motorků

Předpisy, uvedené v „Soutěžních a stavebních pravidlech“, jsou závazné pro veškerou manipulaci s motorky a je třeba je znát a bezpodmínečně dodržovat. Dále je třeba dodržovat tyto zásady:

a) motorky je nutno chránit před prudkými nárazy a

před navlhnutím. Zcela nevhodné je ukládání do PE-sáček. Při navlhnutí, ke kterému může zejména v letních měsících snadno dojít, může při následujícím vyschnutí dojít ke snížení soudržnosti TPH s vnitřní stěnou trubky a v důsledku toho k explozi či průšlehu;

b) motorek je nutno v modelu umístit opravdu pevně, aby nedošlo k jeho pohybu během tahu anebo výmetu, a brát přitom ohled na možnost výměny motorku. Je vhodné používat pevnou zádržku v trupu a pružnou pojistku proti vyhození;

c) výmetná náplň v motorku je navažována nebo dávkována v úzkých tolerancích. Pokud nedojde k uvolnění krytky a k vysypání, zaručí spolehlivě otevření modelu a vyhození návratného zařízení. Je-li však expanzní prostor malý a pevně utěsněný, dojde k prudkému vzrůstu tlaku, který má za následek utržení hlavice se sireemem nebo ustřelení kontejneru raketoplánu. Výmetná náplň však nedokáže vytlačit objemný padák, napěchovaný do tenké rakety;

d) je třeba počítat se značným teplem, uvolněným při hoření zpoždovací složky i jejím dohoříváním při výmetu



a obětovat raději nějakou desetinu gramu na vhodnou izolaci.

#### 6.4.1. Iniclace motorků

Pravidla předepisují elektrické odpalování. Palníky PRBK, dodávané společně s motorky ZVSRM, jsou vhodné pro všechny typy. Pro současné odpálení více motorků je nutno používat palníky č. 121, vyráběných ve Zbrojovce Vsetín. Výrobce mívá na skladě palníky druhé kvality, které jsou levnější a ZO Svazarmu je mohou získat. Při současném odpalování více palníků je vhodný jejich výběr podle elektrického odporu, aby bylo zaručeno úplné odpálení. Palníky si připravujeme vždy před soutěží, přírodní dráty spojujeme letováním. Palníky č. 121 používáme vždy v kombinaci se zážehovou složkou M2 (RMK Dubnica nad Váhom), kterou natlačíme do trysky motorku pomocí dřevěného tlačítka, za použití ochranných brýlí a rukavic. Palníky upevňujeme co připravku tak, aby se jejich hlavičky opíraly o zážehovou složku.

Zpožďovací složka Z2 (RMK Dubnica nad Váhom) používáme pro opožděný zážeh jednoho nebo více motorků. Tak je možno např. s kombinací dvou motorků DS D6 dosáhnout celkovou dobu tahu 5,4 s a případně zařadit mezi dobu funkce obou motorků „pauzu“. Technické zvládnutí této kombinace v soutěžní kategorii S8E je vysoce náročné, ale umožňuje dosahovat stejných nebo lepších výsledků v porovnání s jedním motorem FSIE5-2. Pro zážehování druhého stupně dvojestupňových raket si zhotovíme papírovou trubici, kuželovitě zúženou na horním konci, který zasahuje do trysky motorku druhého stupně. Pomocí laku C1005 nalepíme několik zrněk složky M-2 na vnitřní povrch trubky ve spodní a v horní kuželovité části obr. č. 6.12. K oddělení stupňů dojde výmetem motorku 1. stupně (s příslušně krátkým zpožděním), který zároveň vyhodí padák 1. stupně. Spolehlivější způsob používá elektrický zážeh 2. motorku palníkem, který se uvede do funkce spojením kontaktů při oddělení 1. stupně. Také je možné použít elektrický zpožďovač zážehu 2. stupně.

#### 6.4.2. Výběr motorků pro soutěžní létání

Výběr bývá obvykle velmi jednoduchý: létáme s tím, co máme. Budme však optimisty: jednou se proboujeme až do reprezentačního výběru a pak do péče oddělení vrcholového sportu a k plným truhlicím motorků nejrozličnějších typů...

K dosažení co největší výšky je třeba splnit v první řadě požadavky, vyplývající z Ciolkovského rovnice. K tomu přistupuje rovnice pro odpor vzduchu

$$(8) \quad F_x = \frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad [N]$$

$F_x$  – síla odporu vzduchu (N)

$C_x$  – koeficient tvaru tělesa

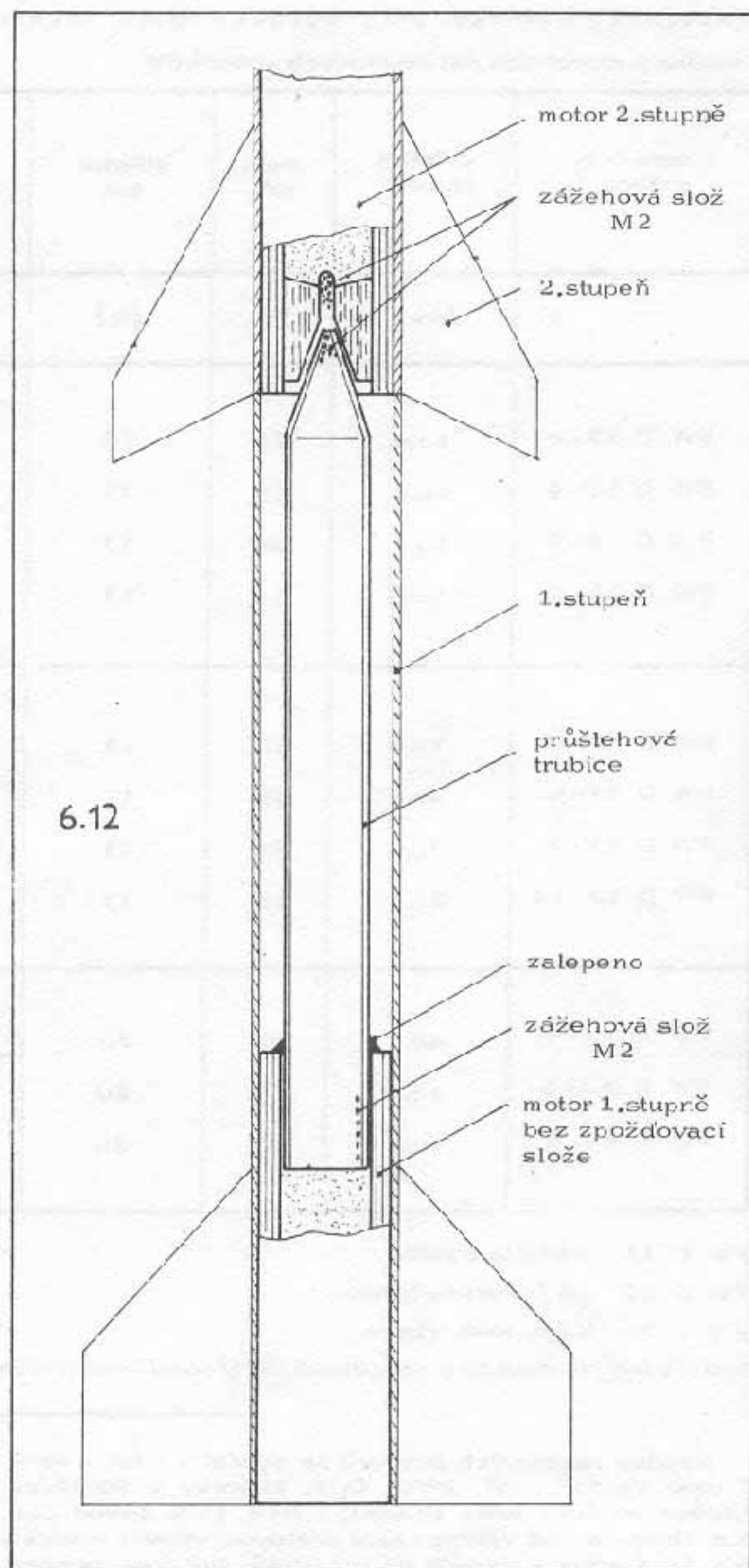
$\rho$  – hustota vzduchu v dané výšce ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$S$  – čelní průřez t.j. plocha největšího příčného řezu tělesa ( $\text{m}^2$ )

$v$  – rychlost tělesa ( $\text{m s}^{-1}$ )

Z ní vyplývá nutnost stavět modely pokud možno s co největším čelním průřezem, s co nejdokonalěji vypracovaným povrchem, tvarově i hmotově symetrické. A konečně je to onen známý fakt, že koule „ledovka“ doletí dál než stejně velká koule z kyprého aného. Jinak řečeno: zpoždění střely vlivem odporu vzduchu pro danou rychlost je nepřímo úměrné tzv. průřezovému zatížení  $\frac{m}{S}$ , kde  $m$  je hmotnost střely,  $\frac{\pi d^2}{4}$  její čelní průřez.

Souhrn těchto faktorů je podkladem pro výpočet



teoretického dostupu rakety, což je oblast vědy, zvané vnější balistika raket. Zvládnutí této problematiky je nutné k tomu, abychom mohli alespoň přibližně vypočítat teoretický dostup našeho modelu, určit optimální startovní hmotnost a zpoždění výmetu. Pak by měla následovat praktické letové zkoušky s měřením a opravavým výpočtem pro daný skutečný model.

#### 6.4.3. Zásady pro výběr motorků pro jednotlivé soutěžní kategorie

##### Třída S1A

Modely s velmi malým průřezovým zatížením. Je třeba si uvědomit, že pro daný model existuje optimální hmotnost,



nutná k dosažení největší výšky. A konečně – model musí být vidět, aby mohl být změřen. Ze supertenkého motorku těžko dostaneme vydatnou dýmovou stopu (to je jediné, co je ve výšce vidět, bez ohledu na vhodné či nevhodné zbarvení modelu). Z těchto hledisek jsou naše motorky MMB2,5–9 optimální.

#### Třída S2A

Modely s velkým průřezovým zatížením. Jednoznačně výhodné jsou motory s vysokou hodnotou středního tahu. V této kategorii jsou motory FW zatím bez konkurence.

#### Třída S3A

Záleží na zvoleném rozměru padáku. Dnešní modely vycházejí poměrně dlouhé. Vyplatí se provést výpočet optimální hmotnosti modelu. Přitom je nutno brát do úvahy, že padák potřebuje určité optimální zatížení pro řádnou funkci. Podle toho jsou vhodné motory MMA 2,5, ale někdy i standardní motory s větším průřezem.

#### Třída S4C

Pro modely klasické koncepce jsou vhodné RM10–1,2–4, případně dvakrát MMB2,5 ve dvojestupňovém uspořádání; pro rogalla FWC 13–6.

#### Třída S5C

Je třeba se rozhodnout, co budeme stavět: či lenkou dvojestupňovou raketu na dva motory MMB2,5 nebo jednostupňovou raketu na motor FWC 13. V prvním případě máme lehkou raketu, která za bezvětří dosáhne vynikající výšky. Ve větrném počasí se pravděpodobně sklopí, čímž vzroste riziko rozdílu měření výšky ze dvou stanicí. Ve druhém případě vyjde model s větším čelním průřezem, umožňujícím zpracování detailů, balisticky lepší (optimální hmotnost je nutno vypočítat) a s markantní dýmovou stopou.

#### Třída S6A

Současná světová tendence je vyvinout co největší motorky s nízkou zbytkovou hmotností. Dochází přitom až k absurdnostem. Motorky nemají potřebnou konstrukční a technologickou spolehlivost, nemluvě už o možnosti jejich výroby v širším měřítku. Čelní průřez modelu je však dán použitým streamerem a také požadavkem dodržení optimálního vztahu průřezu k délce modelu. V porovnání se špičkovými rumunskými motorky MR 40, 6–4 je zbytková hmotnost našich MMA 2,5 pouze o 1,7 g větší. Hlavní problém je tedy v materiálu na streamery.

#### Třída S7

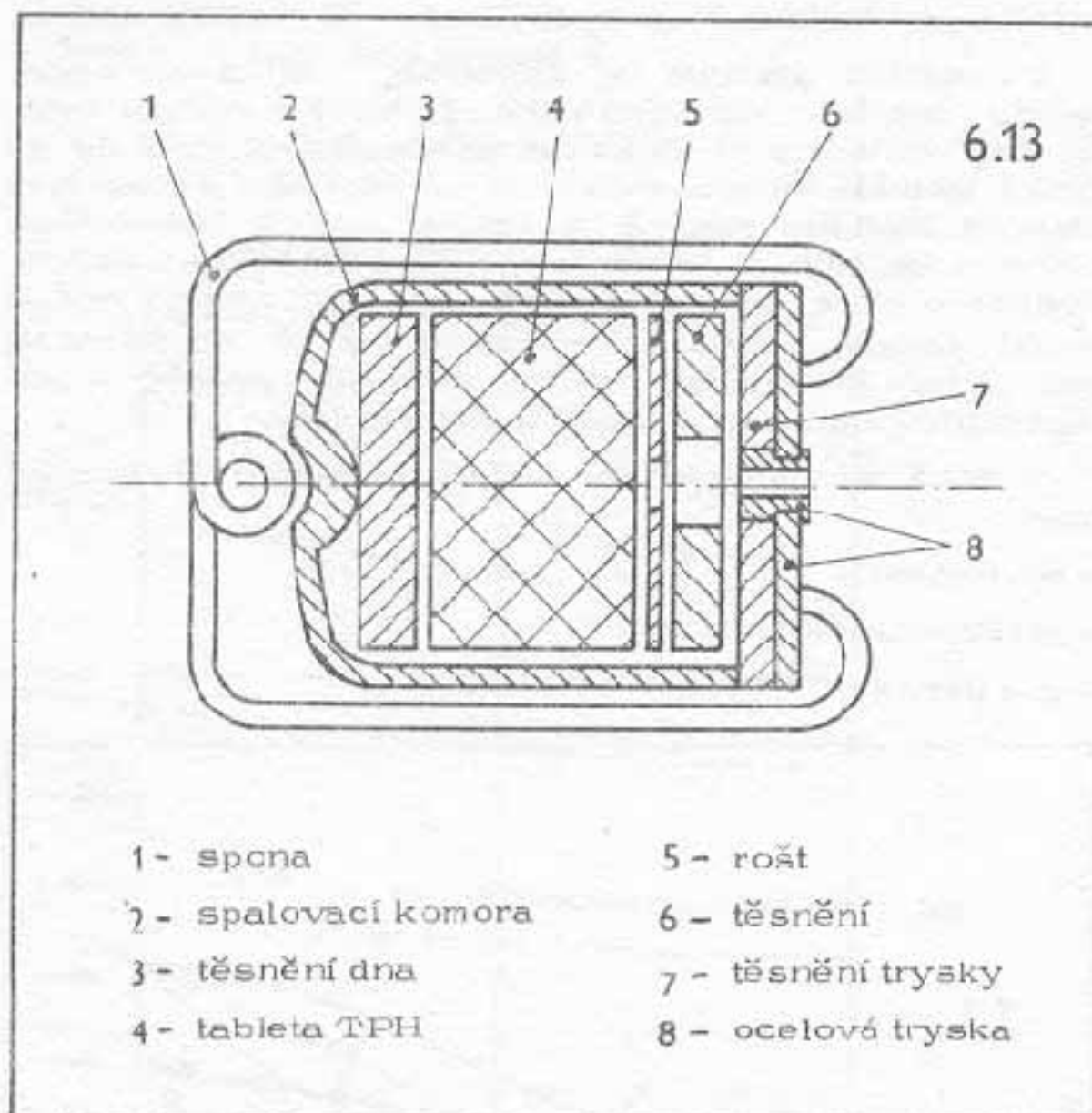
Dodnes nemáme naprosto spolehlivý motor třídy E pro jednomotorové modely. Dnešní nejvyšší povolená startovní hmotnost 0,5 kg neumožňuje používat motory do hranice povoleného  $100\text{ Ns}$  – na škodu věci. U vícemotorových modelů je výběr vhodných motorků větší. Je třeba zajistit dostatečné zrychlení modelu při startu, jinak je vždy riziko sklopení modelu při startu.

#### Třída S8E

RC raketoplán: motory DSD8 s postupným zážehem.

### 6.5. Raketové motory typu „S“

V přehledu soutěžních kategorií jsou uvedeny v oddíle 3.10. volně létající modely poháněné raketovým motorem typu „S“. Tyto motorky vyráběl v začátcích raketového modelářství podnik OV Svazarmu Pardubice v Podhořanech; nyní se již nevyrábějí ani nejsou v prodeji. Pro přehled však alespoň stručně. Motory jsou označeny podle velikosti S1, S2, S3, S4. Na obr. č. 6.13 je řez motorkem, který se skládá ze spalovací komory, tryskového dna a pojistné spony. Spalovací komora je vyrobena z kvalitní hliníkové slitiny a je lisována do tvaru nádoby s vyklenutým dnem o síle stěn 1 mm. Tryskové dno je vyrobeno z ocelového plechu tloušťky 0,8 mm a je spojeno s komorou pojistnou sponou. Pojistná spona je vypočítána a vyrobena tak, že při tlaku vyšším jak  $2\text{ kp/cm}^2$



pružně uvolní přitlačené tryskové dno. Vzniklou štěrbinou mezi tryskovým dnem a okrajem spalovací komory mohou uniknout plyny ze spalovací komory. Tím je zabezpečen motorek proti roztržení.

Do komory se vkládá hnací náplň – tableta nízkotlakové TPH. Dále se do komory vkládají azbestové vložky, těsnění a drátěný rošt, který usnadňuje zážeh. Hnací náplň se zážehuje speciální zápalnicí. Doba tahu je přibližně 15 sekund. Motor se vsouvá do speciálního držáku z hliníkového plechu.

## 7. STABILITA MODELU RAKETY

### 7.1. Stabilita rakety za letu

Stabilitou nazýváme schopnost modelu vrátit se do původního směru letu, ze kterého byl působením nějaké vnější příčiny vychýlen. Stabilitu modelu rakety rozdělujeme na statickou a dynamickou.

Statická stabilita zaručuje, že model rakety, který se vychýlil z polohy odpovídající výchozímu režimu letu, bude aerodynamickými momenty vrácen zpět do původního režimu letu. Statická stabilita však není stabilitou v plném slova smyslu. Staticky stabilní model, který se po vychýlení vrací do rovnovážné polohy, může tuto

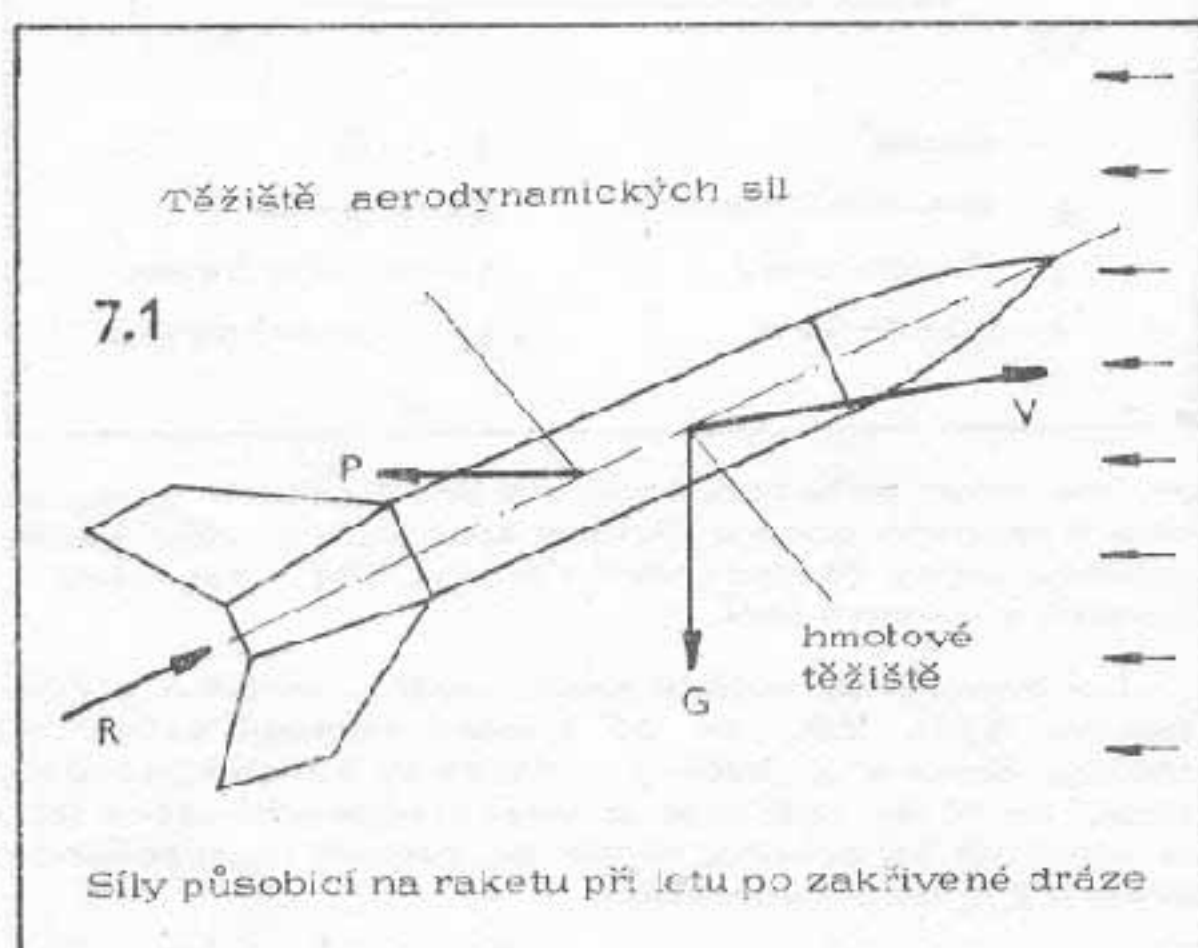


polohu „překnitnout“ a vychýlit se na druhou stranu.

Dynamická stabilita je zajištěna, vrátí-li se model rakety natrvalo do výchozího stabilního režimu letu. Je tedy stabilitou v plném slova smyslu. Rozbor dynamické stability modelu rakety je ve srovnání s rozбором statické stability značně složitější. Jsou k tomu ovšem nutné podklady o aerodynamických charakteristikách, rozložení hmot, tuhosti jednotlivých částí apod. Koná-li model rakety pohyb výhradně v rovině souměrnosti bez vytočení, mluvíme o tzv. podélném pohybu – jde o podélnou statickou a dynamickou stabilitu.

V době letu působí na neřízenou raketu tři základní síly:

- tah motoru  $R$
- aerodynamický odpor  $P$
- síla tíže  $G$



Tah rakety  $R$  působí ve směru podélné osy rakety. Aerodynamický odpor  $P$  ve směru nabíhajícího proudu vzduchu má své působíště v těžišti aerodynamických sil (plošném těžišti). Síla tíže  $G$  má své působíště v hmotném těžišti a směr do středu země.

Pohyb rakety po určené dráze je stabilní, pokud síly a momenty působící na raketu jsou v rovnováze a směřují raketu na stanovenou dráhu.

Na obr. č. 7.2 jsou uvedeny tři případy letu rakety:

- a) stabilní let rakety po dráze;
- b) stabilní let rakety po dráze, na kterou zapůsobil poryv větru; útlum amplitudy kmitů rakety nastává pod vlivem působících sil a momentů;
- c) nestabilní let rakety po stanovené dráze; působící síly a momenty nejsou schopny utlumit rozkmitání rakety způsobené například poryvem větru a amplituda rozkmitání rakety se zvětšuje.

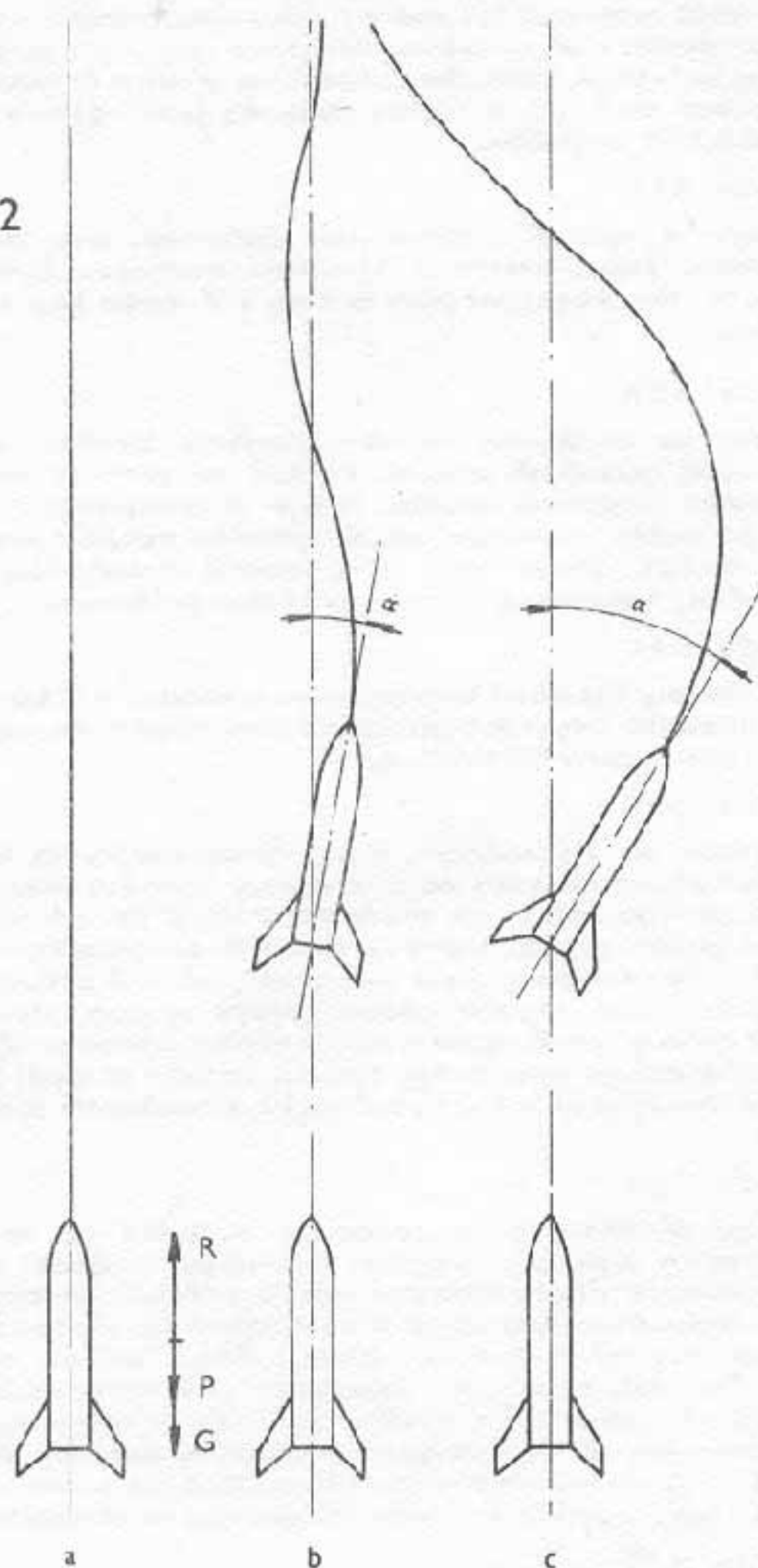
Příklad uvedený na obr. č. 7.3 zobrazuje charakter vlivu sil a momentů na stabilitu letu rakety. V příkladu uvedeném na obr. č. 7.3 je aerodynamické těžiště umístěno za hmotovým těžištěm.

Z rozboru příkladu (obráz. č. 7.3) vyplývá:

- a) raketa letí po určené dráze bez rušivých vlivů
- b) nastává vychýlení letu rakety od určené dráhy, například vlivem poryvu větru. Mohou nastat dva případy:
  - kdy úhel náběhu  $\alpha$  je kladný;
  - kdy úhel náběhu  $\alpha$  je záporný.

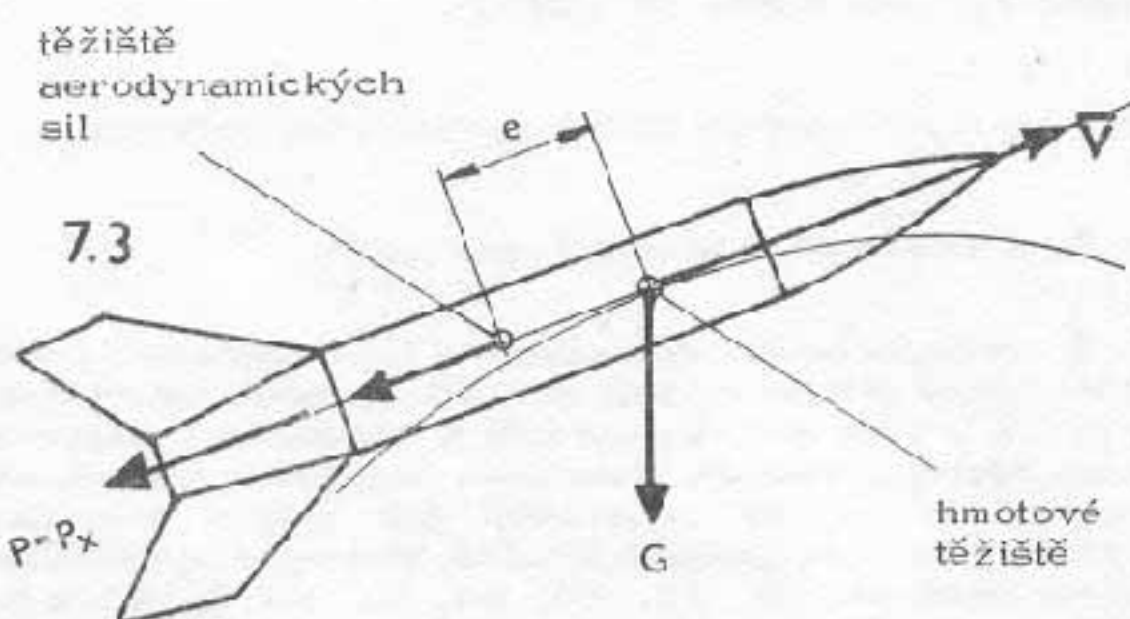
Vzniklý aerodynamický moment způsobuje zmenšení úhlu náběhu  $\alpha$ , amplituda kmitu rakety se

## 7.2



Dráha letu rakety

a) stabilní; b) dynamická stabilita, amplituda kmitu se zmenšuje; c) nestabilní; amplituda kmitu se zvětšuje

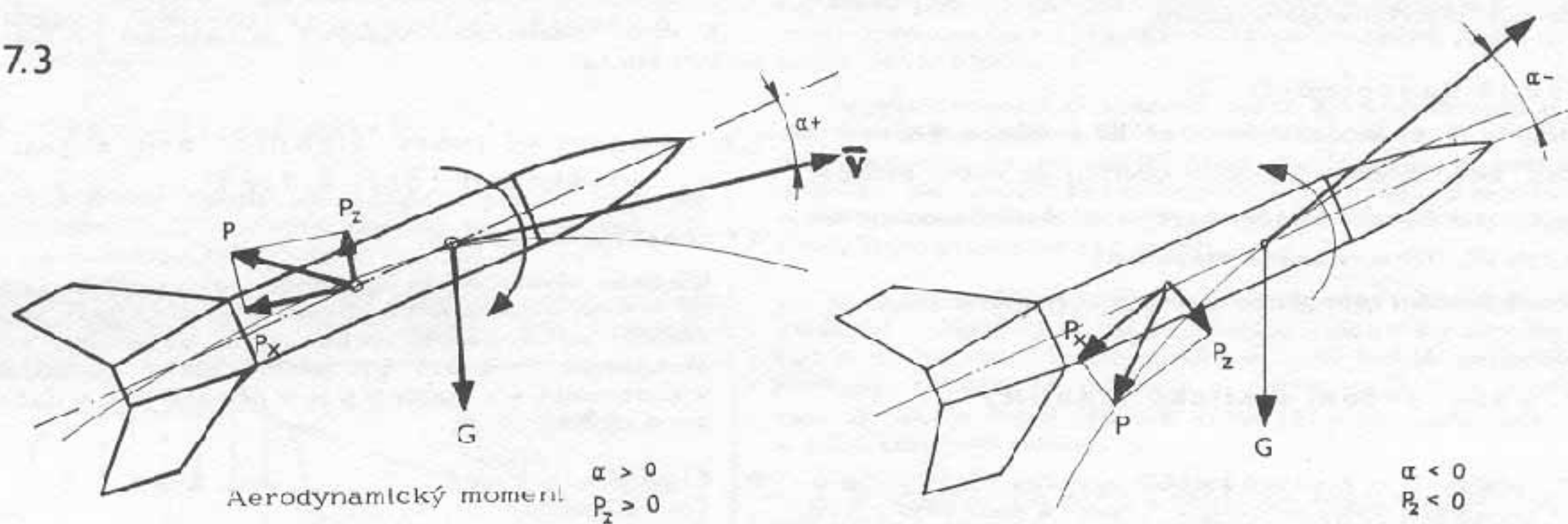


Zobrazení charakteru vlivu sil a momentů na stabilitu letu rakety

(aerodynamické těžiště je umístěno za hmotovým těžištěm; vzdálenost  $e$  určuje zálohu stability)



7.3



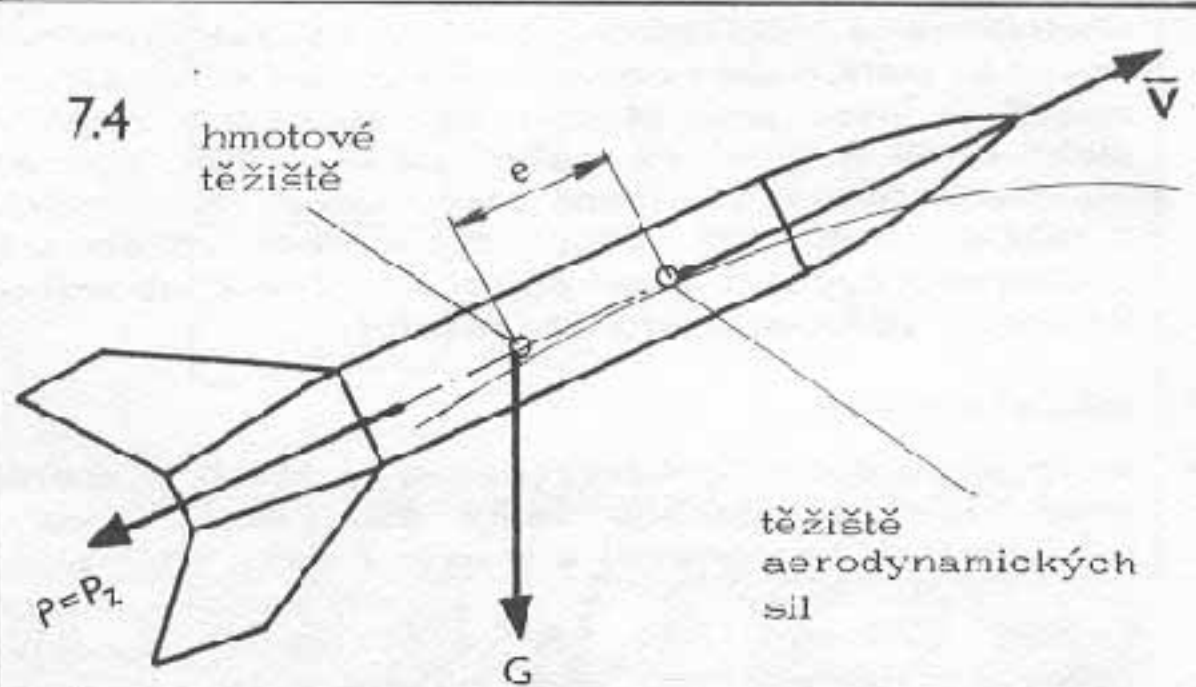
zmenšuje do úplného zániku a let rakety se stává stabilní.

V příkladu uvedeném na obr. č. 7.4 je aerodynamické těžiště umístěno před hmotovým těžištěm.

náběhu  $\alpha$ , ale naopak jej zvětšuje a ještě více zvětšuje amplitudu kmilu a let rakety se více odchyluje od předpokládané dráhy. Let rakety je nestabilní.

Pro dosažení stabilního letu rakety je nutná určitá vzdálenost  $e$  mezi těžištěm aerodynamických sil a hmotovým těžištěm (viz obr. č. 7.3), zpravidla označována jako

7.4

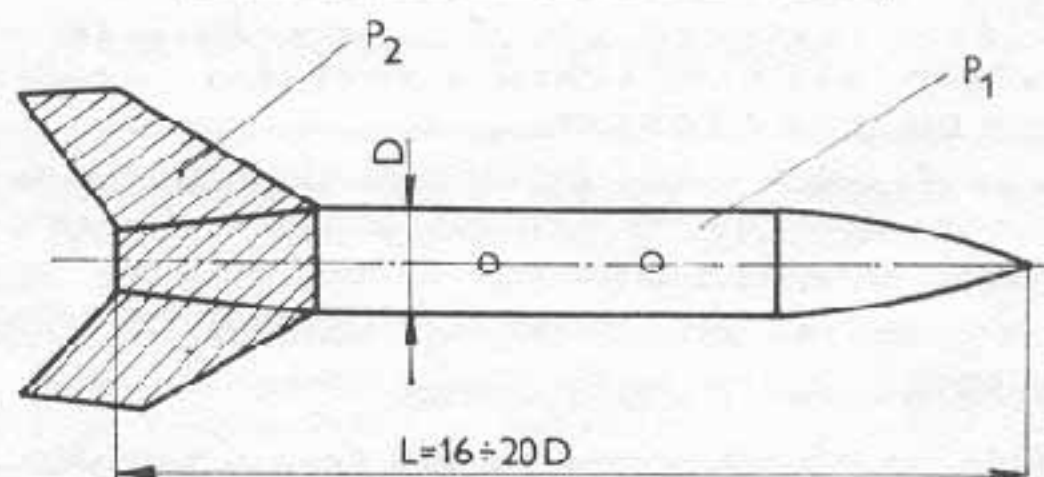


Zobrazení charakteru vlivu sil a momentů na stabilitu letu rakety

(aerodynamické těžiště je umístěno před hmotovým těžištěm)

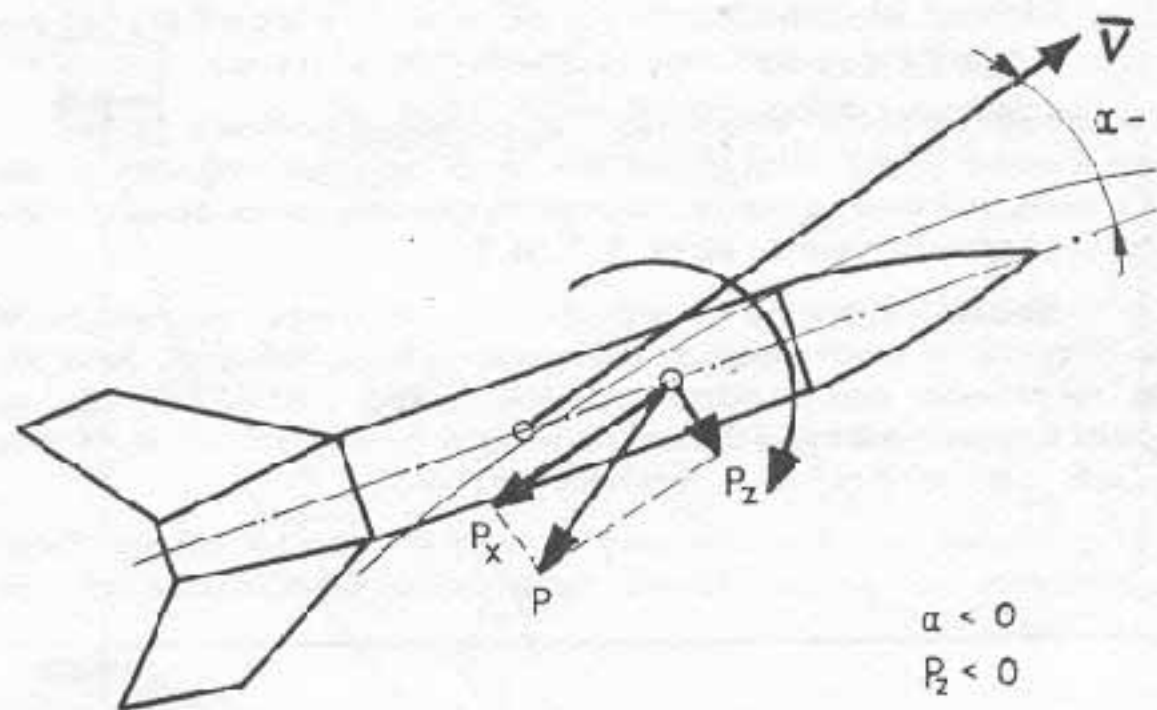
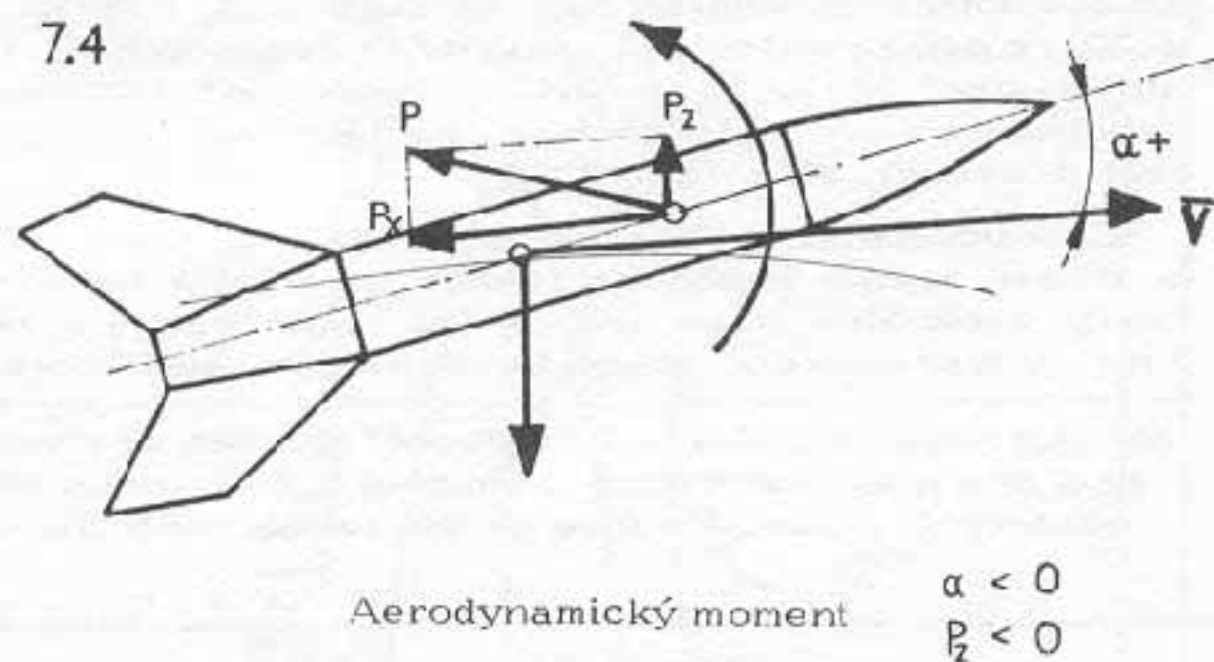
7.5

$$P_2 = (0,8 \div 1,0) \cdot P_1$$



Odpovídající poměry ploch modelu rakety

7.4



Z rozboru případu (obrázky č. 7.4) vyplývá:

- raketa letí po určené dráze bez rušivých vlivů;
- nastává vychýlení letu rakety od určené dráhy, například vlivem poryvu větru. Mohou nastat dva případy:
  - kdy úhel náběhu  $\alpha+$  je kladný;
  - kdy úhel náběhu  $\alpha-$  je záporný.

Vzniklý aerodynamický moment ne zmenšuje úhel

tzv. statická zásoba  $e$ , která určuje sklon momentové křivky modelu rakety.

Statická zásoba je daná vztahem v tabulce č. 7.13.

Z výše uvedeného vyplývá, že velikost statické zásoby závisí na velikosti ploch stabilizátorů.

Plocha stabilizátoru  $P_2 = (0,8 - 1,0) P_1$ ; kde  $P_1$  je plocha trupu rakety,  $P_2$  plocha stabilizátoru (obrázky č. 7.5.)



Uvedený jednoduchý vztah nám pomůže při řešení základního návrhu modelu rakety.

**Důležité upozornění:**

Postavíme-li si model rakety ať již podle osvědčeného plánu nebo podle vlastního návrhu, je nutno provést analýzu polohy těžiště hmotového a těžiště aerodynamických sil. Dříve nesmíme startovat!

Nestabilní model rakety může způsobit zranění!

## 7.2. Zabezpečení statické stability

K zabezpečení statické stability existují různé způsoby. V současné době se u modelů raket k dosažení dobré statické stability převážně používají stabilizátory. Velmi zřídka je dosahována stabilizace modelu raket otáčením – tzv. gyroskopické stabilizace. Velmi málo se používá stabilizace prstencová.

Samotný trup rakety nevyniká statickou stabilitou a těžiště aerodynamických sil je umístěno před hmotovým těžištěm. Tedy: požadavkem na zabezpečení statické stability bude dosáhnout toho, aby hmotové těžiště bylo před těžištěm aerodynamických sil. To je možno splnit umístěním stabilizátoru v ocasní části rakety. Tím je dosažen vznik postačujícího stabilizujícího momentu. Budeme-li uvažovat i hmotu stabilizátoru, dojde i k posunu hmotového těžiště směrem k ocasní části rakety. (U modelů raket, vzhledem k malé hmotnosti stabilizátoru, je možno zanedbat.)

Vážným faktorem statické stability je výběr odpovídajícího tvaru a rozložení stabilizátoru na trupu rakety.

Na současných modelech raket jsou používány různé druhy tvaru stabilizátorů. Profil stabilizátorů má zpravidla symetrický tvar.

Aerodynamické charakteristiky stabilizátorů závisí:

- na zadaném tvaru a stálé rychlosti;
- na úhlu šípovitosti přední a zadní hrany a její ostrosti;
- na rozpětí stabilizátoru;
- na odpovídajících rozměrech kořenné a koncové aerodynamické tělvy.

Zvláštnost stabilizátoru spočívá v rozpětí, které nemá být menší než 3–3,5 D trupu.

Aerodynamické charakteristiky stabilizátoru je nutno v současné době uvažovat jak pro dozvukové rychlosti tak i nadzvukové. (Nadzvukové rychlosti jsou dosahovány u víceúhlových raket 1,2 M.)

V případě dozvukových rychlostí se nachází stabilizátor v podmínkách dozvukového obtékání. Jeví se zde naprosto nevýhodné použití ostré náběžné hrany profilu stabilizátoru. Přední náběžná hrana má mít hranu mírně zaoblenou a vyhlazenou.

V případě nadzvukových rychlostí se nachází stabilizátor v podmínkách nadzvukového obtékání. Je

nutné, aby přední náběžná hrana byla ostrá.

Z výše uvedeného vyplývá důslednost při výběru stabilizátoru.

### 7.2.1. Typické tvary stabilizátorů a jejich vlastnosti (obr. č. 7.6)

#### a) trojúhelníkový

- kladnou vlastností je šípový charakter přední náběžné hrany, v dozvukové oblasti letu střed tlaku stabilizátoru se posunuje velmi málo. Vztahová síla a stabilizující moment při stejné ploše stabilizátoru v porovnání s případem b je v případě letu v nadzvukové oblasti větší;

#### b) čtyřúhelníkový (dva případy)

- pro jeden z nich je charakteristický přední a u druhého příkladu zadní směr posunu středu tlaku. První příklad vyniká menší a druhý několikrát větší vztlakovou silou a tedy i menším a větším stabilizujícím momentem;

#### c) pětúhelníkový

- ve svých vlastnostech je blízko k vlastnostem trojúhelníkového stabilizátoru, jestliže velikost koncové hrany je malá. Takto provedené skosení stabilizátoru zmenšuje sice jeho plochu, ale současně zbavuje stabilizátor nepevnosti zašpičatělé hrany, což se hlavně projevuje v případě stabilizátorů vyrobených z měkké balsy. Při větších rychlostech rakety  $v > 150 \text{ m/sec}$  dochází k deformaci koncové části stabilizátoru a změně směru letu rakety;

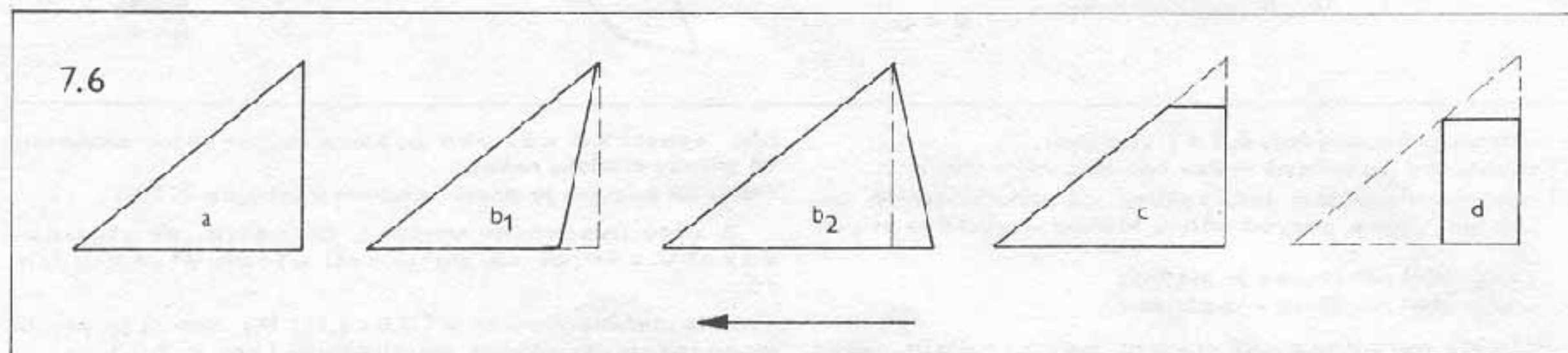
#### d) obdelníkový

- možnost použití v širokém rozsahu rychlosti. Obdelníkový tvar zabezpečuje velký stabilizující moment a přijatelnou interferenci s trupem rakety. Nedostatkem tohoto tvaru je velký aerodynamický odpor prudce vzrůstající již při nevelkých rychlostech rakety a taktéž značné přemístění středu tlaku v transzvukové oblasti letu rakety.

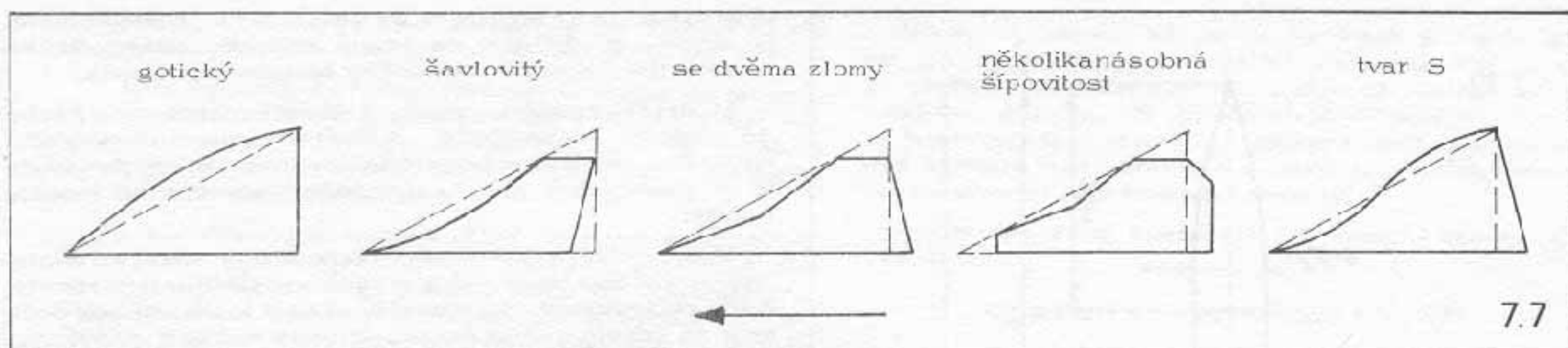
Raketoví modeláři, zabývající se konstrukcí víceúhlových raket,<sup>\*)</sup> si musí uvědomit – a zvláště při použití motoru typu VV (VV 1D–2,1–5 D) – že rychlost posledního stupně rakety se pohybuje v oblasti nadzvukového proudění ( $M 1,1$ ) a že tedy i konstrukce použitých stabilizátorů bude odlišná od výše uvedených. Dále musí počítat s dalekověšími požadavky na pevnost samotného stabilizátoru a jeho spojení s trupem rakety. Proto uvádíme nákrety možných tvarů stabilizátoru pro rychlosti letu rakety  $M 1$  (obr. č. 7.7).

Charakteristickým znakem stabilizátoru pro použití v oblasti nadzvukového obtékání jsou ostré náběžné hrany s několika zlomy (někdy též zadní hrany) a zakřivený tvar náběžné hrany. Uvedené tvary stabilizátorů

<sup>\*)</sup> Model nesmí mít více než tři stupně; stupněm se rozumí část těla raketového modelu obsahující jeden nebo více raketových motorů, které se za letu rakety skutečně odčlíví.







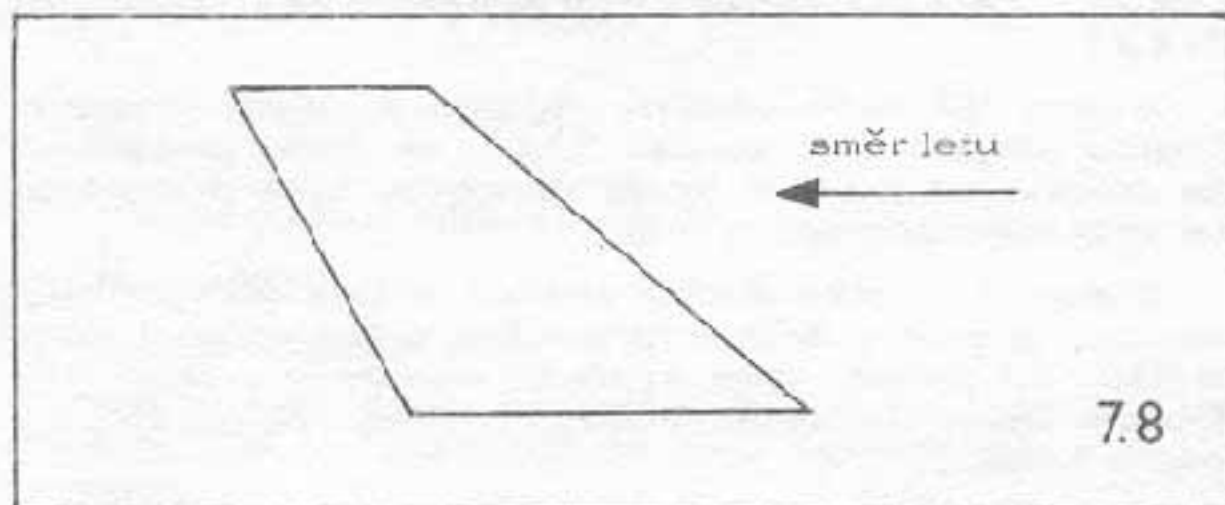
jsou odvozeny z potřeb aerodynamických vlastností rakety v podmínkách přechodu z podzvukové oblasti rychlosti letu do oblasti nadzvukové rychlosti letu rakety. Typickým projevem při takovéto změně rychlosti letu je malé změna posunu středu tlaku, což pozitivně působí na zabezpečení stability letu rakety.

V případě použití gotického tvaru stabilizátoru si musíme uvědomit, že střed tlaku se bude nacházet daleko vpředu a tedy přední část stabilizátoru bude zatížena poměrně velkým aerodynamickým zatížením.

Opačný posun středu tlaku (dozadu) je charakteristický pro šavlovitý tvar. Zvláštností tohoto typu stabilizátoru je poměrně malé posunutí středu tlaku v tranzvukové oblasti letu rakety.

Použité stabilizátory s dvojitými zlomy, několikanásobnou šípovitostí nebo stabilizátory tvaru S nám neslouží pouze pro vytvoření nutné vztlakové síly, ale také pro zabezpečení stability letu rakety. Typické pro tyto druhy stabilizátorů je stabilní rozložení středu tlaku a reálný odpor při přechodu letu rakety z podzvukové do nadzvukové oblasti.

Specifickým problémem tvaru stabilizátoru je tvar s negativní šípovitostí (obr. č. 7,8),



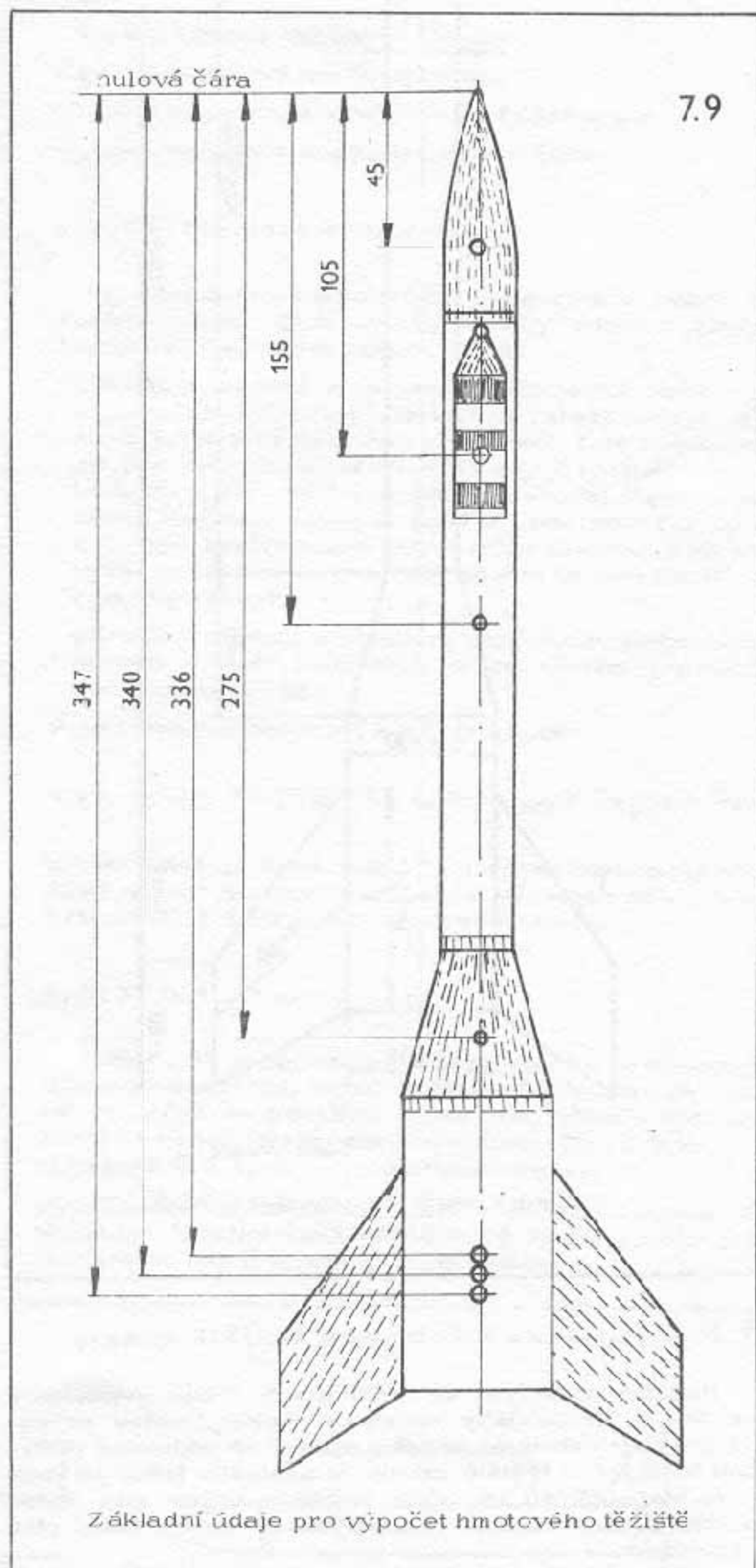
Na základě provedených zkoušek (zatím v oblasti výzkumu) se ukazuje použití tohoto způsobu jako perspektivní, neboť dosavadní výsledky měření a výsledky praktických zkoušek ukazují, že přednosti spočívají:

- ve vysokém přírůstku vztlaku při vzletové konfiguraci;
- v nižším škodlivém odporu proti klasické srovnatelné koncepci;
- v přijatelnějším obtékání profilu v oblasti přechodu do nadzvukové oblasti.

Při použití běžných materiálů je ale prakticky nemožné zhotovit jej dostatečně pevný. Výpočet stability rakety opatřené těmito stabilizátory se řídí zvláštními pravidly; nelze k němu použít dále poplsované metody.

### 7.3. Praktický příklad k řešení stability letu modelu rakety

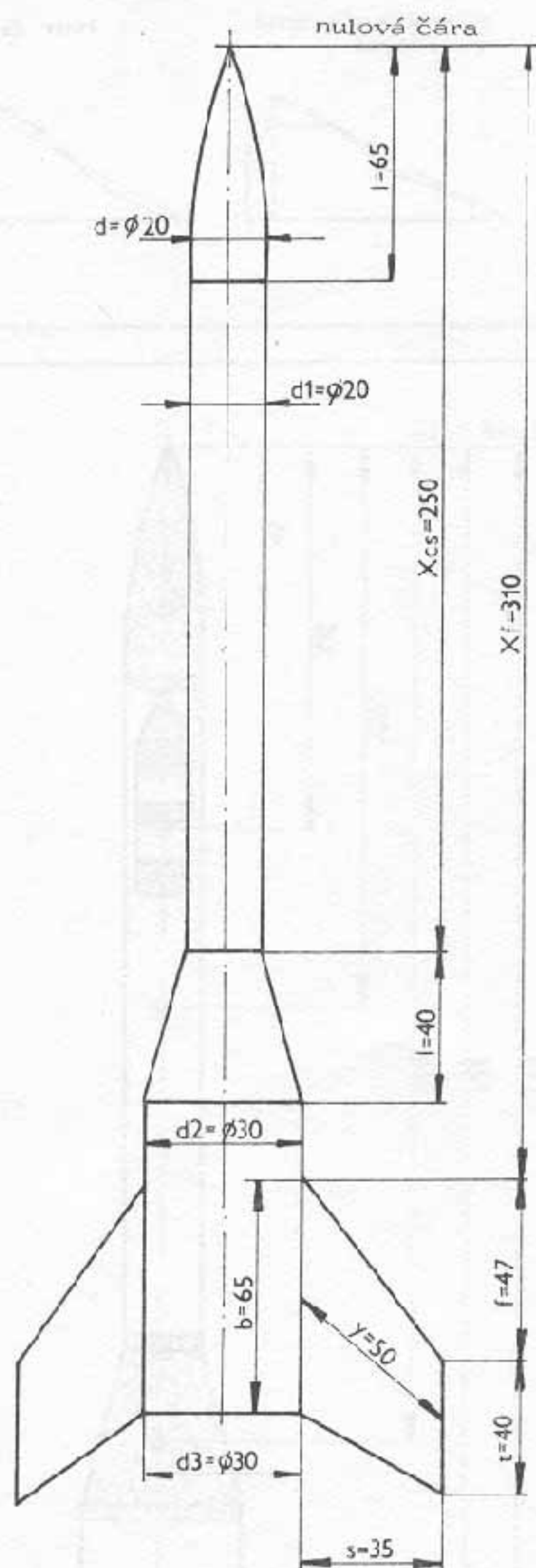
Níže uvedený příklad umožní získat základní poznatky při přípravě a analýze konstrukce vlastního modelu rakety.



Základní schéma rakety je uvedené na obrázku č. 7.9 a 7.10; má reprezentovat přibližně konečnou představu o velikosti, tvaru a stylu rakety. (Obrázek č. 7.10 je na následující straně.)



7.10



Základní údaje pro výpočet těžiště  
aerodynamických sil

### 7.3.1. Analýza hmotového těžiště rakety

Budeme vycházet ze základních údajů uvedených na obr. č. 7.9. Detaily rakety s malou hmotou nejsou do analýzy zahrnuty, neboť nezpůsobují podstatné posunutí hmotového těžiště rakety. V důsledku toho, že velikost stabilizátorů se může změnit a přitom mají malou hmotnost, nebereme je při analýze do úvahy. Totéž platí i pro nůž.

Raketoví odběrníci-modeláři, pokládají statickou zásobu od 0,5–1,0 za přijatelnou a nutnou (platí pro profesionální činnost modeláře).

Pro dodržení stabilního letu rakety je nutné, aby hmotové těžiště bylo umístěno vždy před

těžištěm aerodynamických sil. Jejich poloha je volena s ohledem na proud vzduchu, který obtéká model a tím vyvolává dostatečný stabilizující účinek.

Modeláři-amatéři musí dodržet statickou zásobu do hodnoty alespoň 2,0 průměru trupu (při výpočtu nebereme do úvahy hmotu stabilizátoru, barvy) a přesto je v dostatečné míře zabezpečen stabilní let modelu rakety.

U modelářů-amatérů rovněž není nutno brát do úvahy změnu polohy hmotového těžiště v průběhu letu rakety. Řada profesionálních modelářů však s touto změnou počítá a na raketu zabudovává speciální zařízení umožňující trvale, v průběhu letu rakety, udržet hmotové těžiště v jednom bodě. Pozornost této oblasti je nutno věnovat při konstrukci vícestupňových raket. K řešení hmotového těžiště rakety použijeme tabulku obr. č. 7.11 a obrázek č. 7.9.

### 7.3.2. Analýza těžiště aerodynamických sil rakety

Jde o výpočet myšleného bodu, v němž jsou soustředěny aerodynamické síly působící na model rakety při jejím letu vzduchem. Budeme vycházet ze základních údajů uvedených na obrázku č. 7.10. K řešení těžiště aerodynamických sil použijeme tabulky obr. č. 7.12 a 7.13. Taktéž je nutno použít diagramy obr. č. 7.14–7.19. Po celkové analýze statické zásoby je nutno provést redukci velikosti některých částí rakety za účelem dosažení statické zásoby do 2,0 průměru trupu pro amatéry, 0,5–1,0 pro profesionály-modeláře. (Zpravidla redukuje velikosti stabilizátoru podle tabulky 7.13.)

Menší stabilizátory znamenají o něco menší hmotnost, aerodynamický odpor a dosažení větší výšky. (Statická zásoba 2,0 průměru trupu.)

Je-li statická zásoba 2,0 nutno zvětšit rozměr stabilizátoru (přepracovat tabulku 7.13).

Možno též řešit přidáním zátěže do hlavičky rakety (nutno přepracovat tabulku 7.11). Je nutno pamatovat, že dostatečné zvýšení hmoty rakety se bude projevovat ve výškovém dostupu rakety.

Uvedený typický školní příklad řešení stability nám ukázal na postup řešení hmotového a aerodynamického těžiště. Za pomoci výše uvedené metody je možno řešit modely raket (i vícestupňové). Tabulky lze rozšířit dle počtu stupňů.

Výše uvedenou metodou se řešila celá řada modelů raket a nikdy nebyly problémy se stabilitou letu. Vlastní jednoduché výpočty musí být trpělivě a několikrát propočteny, než dosáhneme přijatelné zálohy statické stability. Zálohu stability volíme raději nižší, neboť při startu modelu rakety dochází ke značné spotřebě pohonné látky a tudíž dochází ke zmenšování hmotnosti motoru. V důsledku toho nastává změna polohy hmotového těžiště a tím se mění záloha stability.

Dalším důležitým faktorem, který nelze opomenout z hlediska stability letu, je vítr.

Za extrémních větrných podmínek\*) způsobuje nadměrná stabilita náklon modelu rakety přímo proti směru větru. Tento charakteristický jev se dá nazvat „stěčením rakety proti větru“.

Taktéž (jak vyplývá z diagramu 7.15) jde o zápornou aerodynamickou sílu, kterou je nutno při řešení vždy odečítat.

\*) rychlost větru  $B = 12 \text{ m/sec}$



detail rakety	m hmotnost detailu rakety (g)	$a_1 \dots a_n$ vzdálenost hmotového těžiště od nulové čáry (mm)	M výsledný moment detailu rakety
hlavice	6	45	270
válcový trup	5	155	775
válcový trup	4	336	1344
válcový trup			
kuželový přechod	5	275	1375
kuželový přechod			
kuželový přechod			
návratné zařízení	6	105	630
stabilizátory I. st.			
stabilizátory II. st.			
stabilizátory III. st.			
redukce pro motor	5	340	1700
redukce pro motor			
motor I. st.	22	347	7634
motor II. st.			
motor III. st.			
$\xi_m$ = celková hmotnost rakety	53	$\xi_m \cdot (a_1 \dots a_n) =$ výsledný moment	13728

vzdálenost hmotového těžiště od nulové čáry

$$A = \frac{\xi(m) \cdot (a_1 \dots a_n)}{\xi_m} = \frac{13728}{53} = 259,01 \text{ mm}$$



Obr. 7.12  
Výpočet aerodynamického těžiště rakety (C.L.)

detail rakety										$\bar{Y}$ acro- dynamická síla	$\bar{X}$ vzdálenost od nulové čáry po aerodyn. těž. detailu	$\bar{Y}$ točivý moment detailu vzhledem k nulové čáře
hlavice rakety										2	30,55	61,10
l = délka hlavice = 65; x = 0,67 . l kužel. tvar; x = 0,47 . l ogivální tvar; x = 0,5 . l parabol. tvar												
kuželový přechod s přední kuželovitostí												
l	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	$\frac{d_2}{d_1}$	$\frac{d_1}{d}$	obr. 7.14 L <sub>CS</sub>	X <sub>CS</sub>	l	obr. 7.15 $\Delta X_{CS}$	$\bar{X}_{CS} = X_{CS} + \Delta X_{CS}$		
1	20	20	30	1,5	1	3,5	250	40	21	271	271,0	948,50
2												
3												
kuželový přechod se zadní kuželovitostí												
d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	$\frac{d_2}{d_1}$	$\frac{d_1}{d}$	obr. 7.15 L <sub>CB</sub>	X <sub>CB</sub>	l	obr. 7.16 X <sub>cb</sub>	$\bar{X}_{cb} = X_{cb} + X_{CS}$			
1												
2												
3												
$\Sigma \bar{Y} =$ celková aerodynamická síla hlavice, části trupu, ocasní části rakety (bez stabilizátoru)										-5,5	$\Sigma (\bar{Y}) - (\bar{X}) =$ součet točivých aerodyn. momentů při nulové čáře (bez stabilizát.)	1 009,6



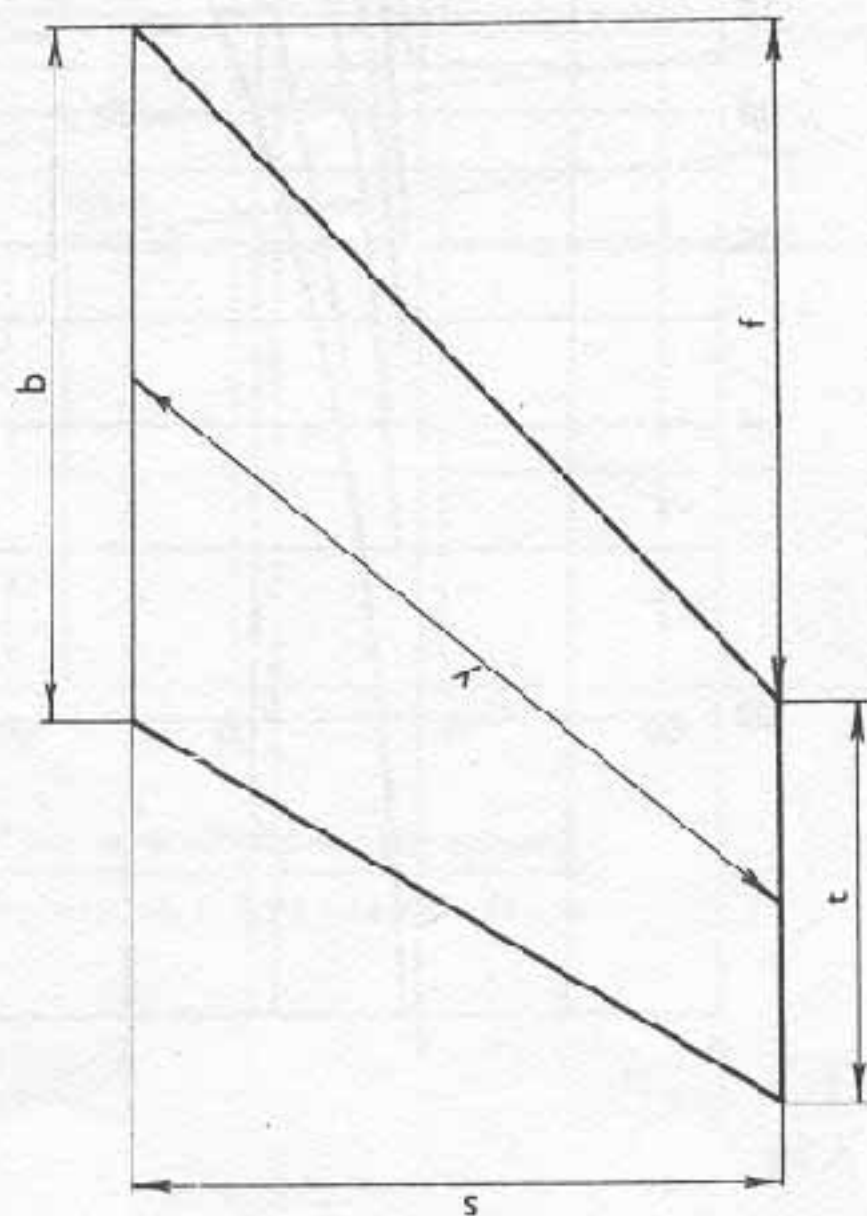
Obr. č. 7.13  
Výpočet těžiště aerodynamických sil pro úplnou raketu

detail rakety										$\bar{x}$ aerodynam. síla	$\bar{y}$ vzdálenost od nulové čáry po aerodyn. těžiště	$\bar{y}$ točivý moment detailu vzhledem k nulové čáře	$\bar{x}$	
výsledek řešení hlavičky, části trupu, ocasní části (bez stabilizátoru) podle obr. č. 7.12										5,5		1 009,6		
aerodynamická síla stabilizátoru										29,48				
y	b	t	b+t	y b+t	s	d	s d	obr. 7.17 L <sub>F</sub>	d <sub>3</sub>	$\frac{d_3}{s}$	obr. 7.18 I.	$\bar{L}_{TF} =$ (L <sub>F</sub> ). (I)		
50	65	40	105	0,476	35	20	1,75	22,5	30	0,857	1,31	29,48		
těžiště aerodynamických sil stabilizátoru														
t	b	t b	f	f b	obr. 7.19 $\frac{\Delta x_f}{b}$		$\Delta x_f = \left(\frac{\Delta x_f}{b}\right) \cdot b$		x <sub>f</sub>	$\bar{x}_f =$ x <sub>f</sub> + Δx <sub>f</sub>				
40	65	0,615	47	0,723	0,58		37,7		310	347,7			10 248,5	
$\Sigma Y =$ celková aerodynamická síla										35		$\Sigma(y) (x)$ součet všech točivých aerodynamic. momentů působících	11 258,05	

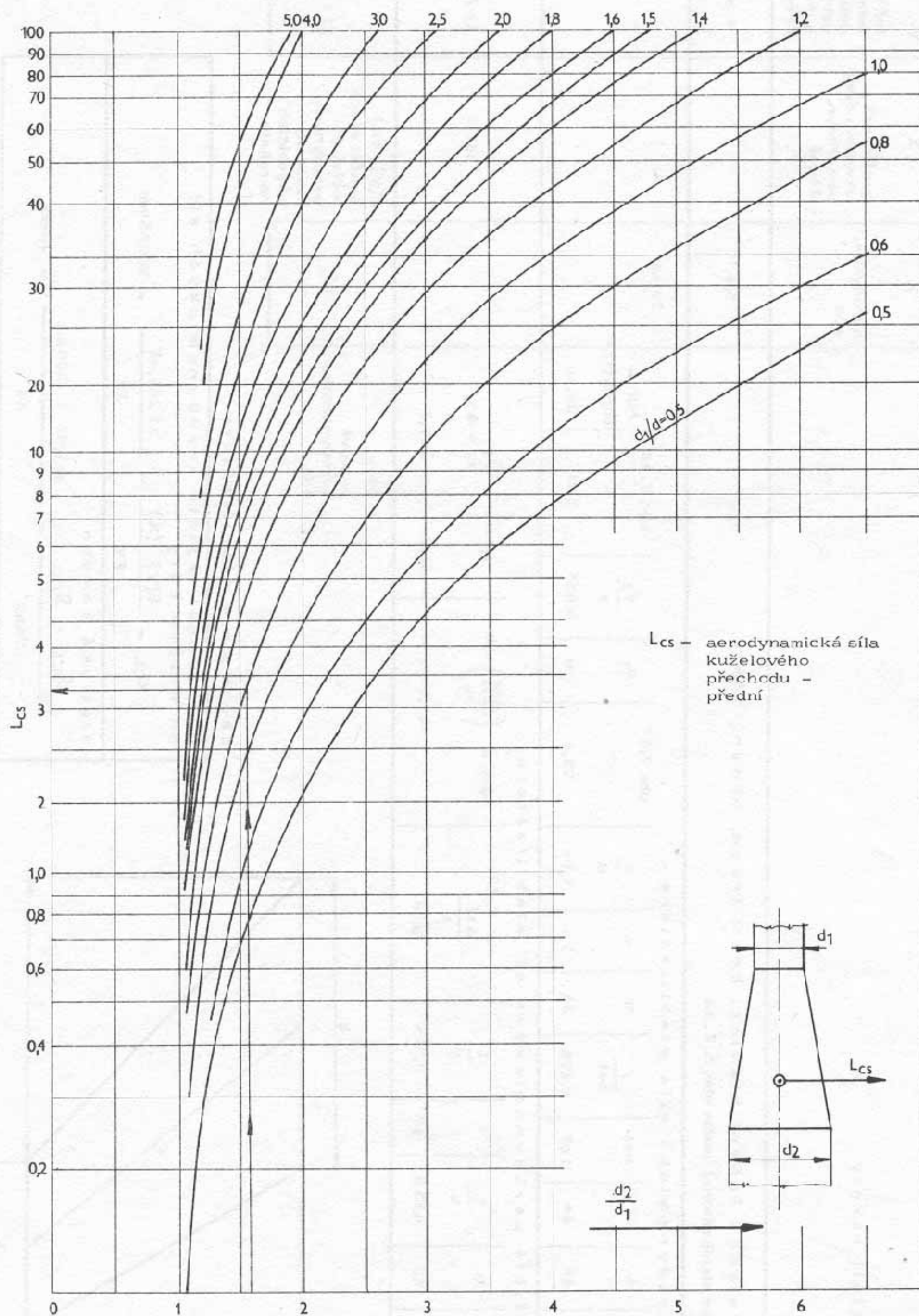
The diagram shows a cross-section of a rocket tail fin. The width of the fin is labeled 'b' and the thickness is labeled 't'. The fin is attached to a central body.

raketa má 4 stabilizátory

vzdálenost těžiště aerodynamických sil od nulové čáry	
$X_{CL} = \frac{\Sigma(y) (x)}{\Sigma Y} = \frac{11 258,05}{35} = 321,65 \text{ mm}$	
statická zásoba	
$\frac{\bar{x}_{CL} - \bar{x}_{CG}}{d_{max}} = \frac{321,65 - 259,01}{30} = 2,088$	

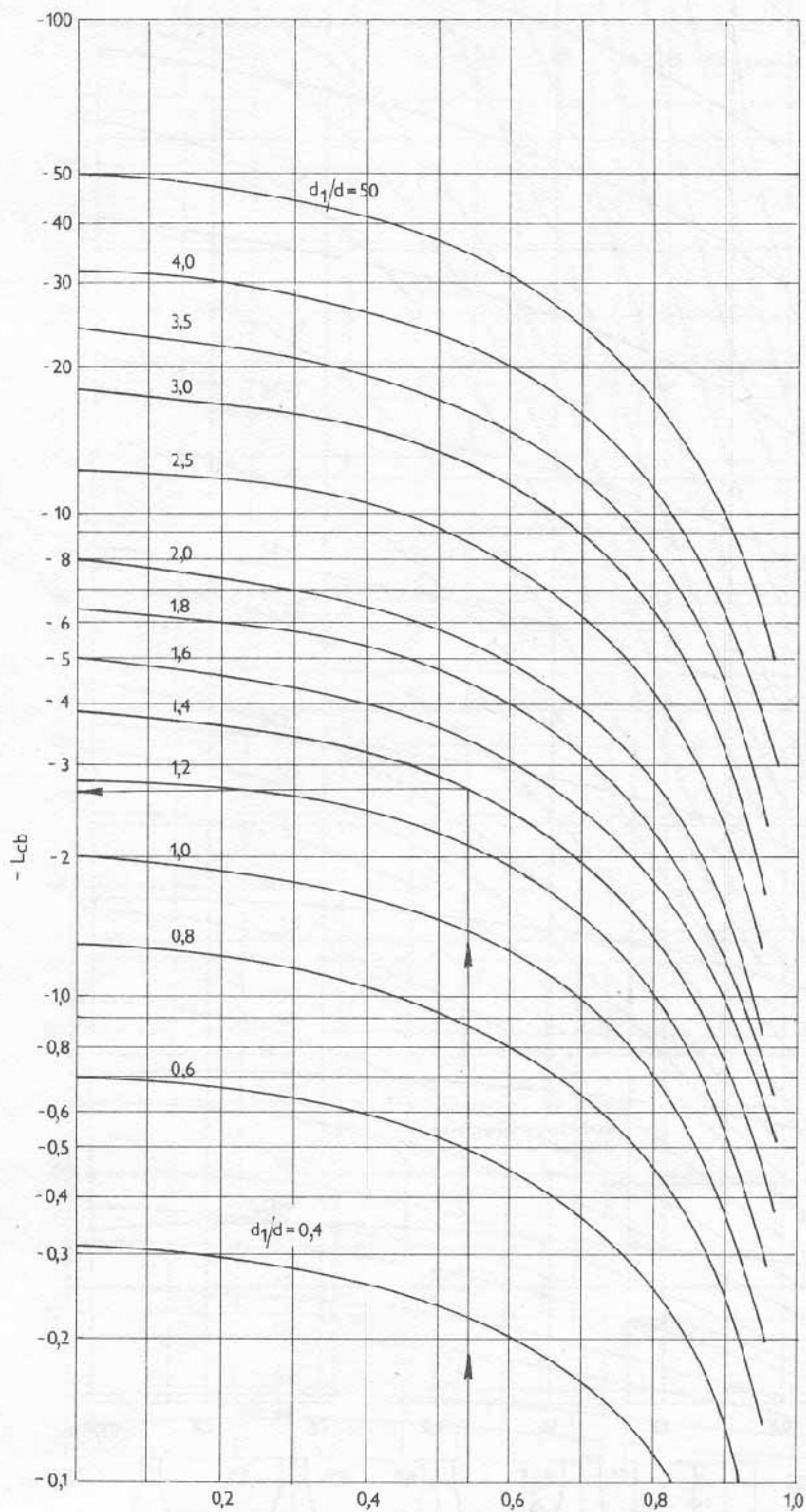






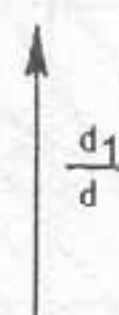
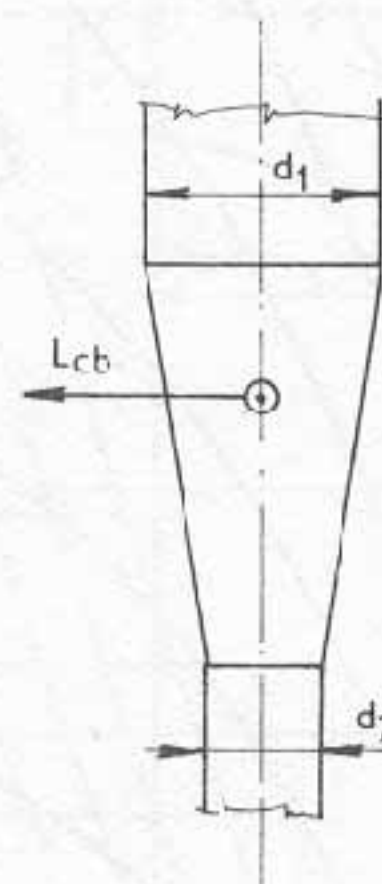
7.14





$L_{cb}$  - aerodynamická  
síla kužellového  
přechodu -  
zadní

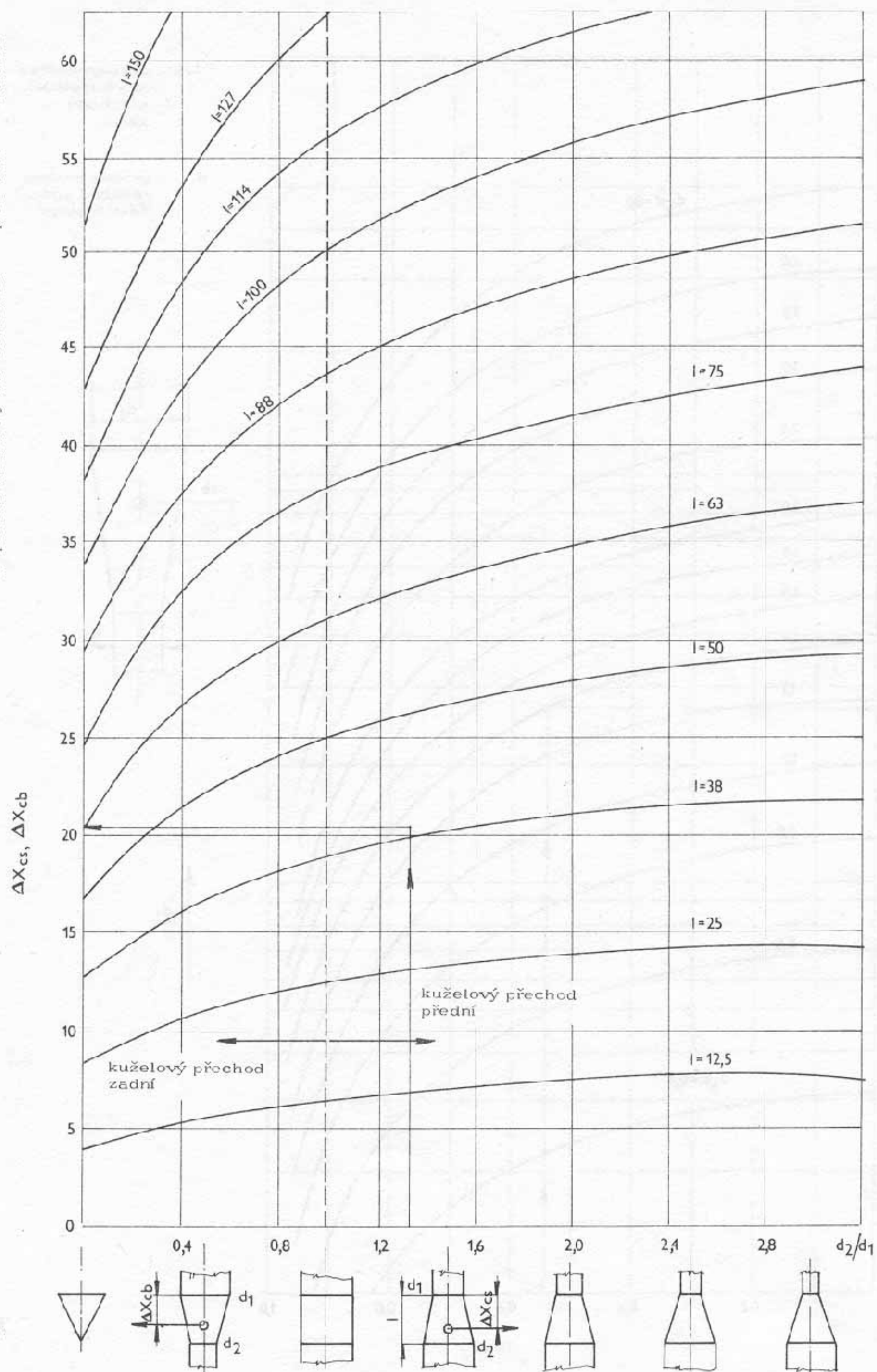
$d$  - průměr modelu  
rakety u spodní  
části hlavičky



7.15

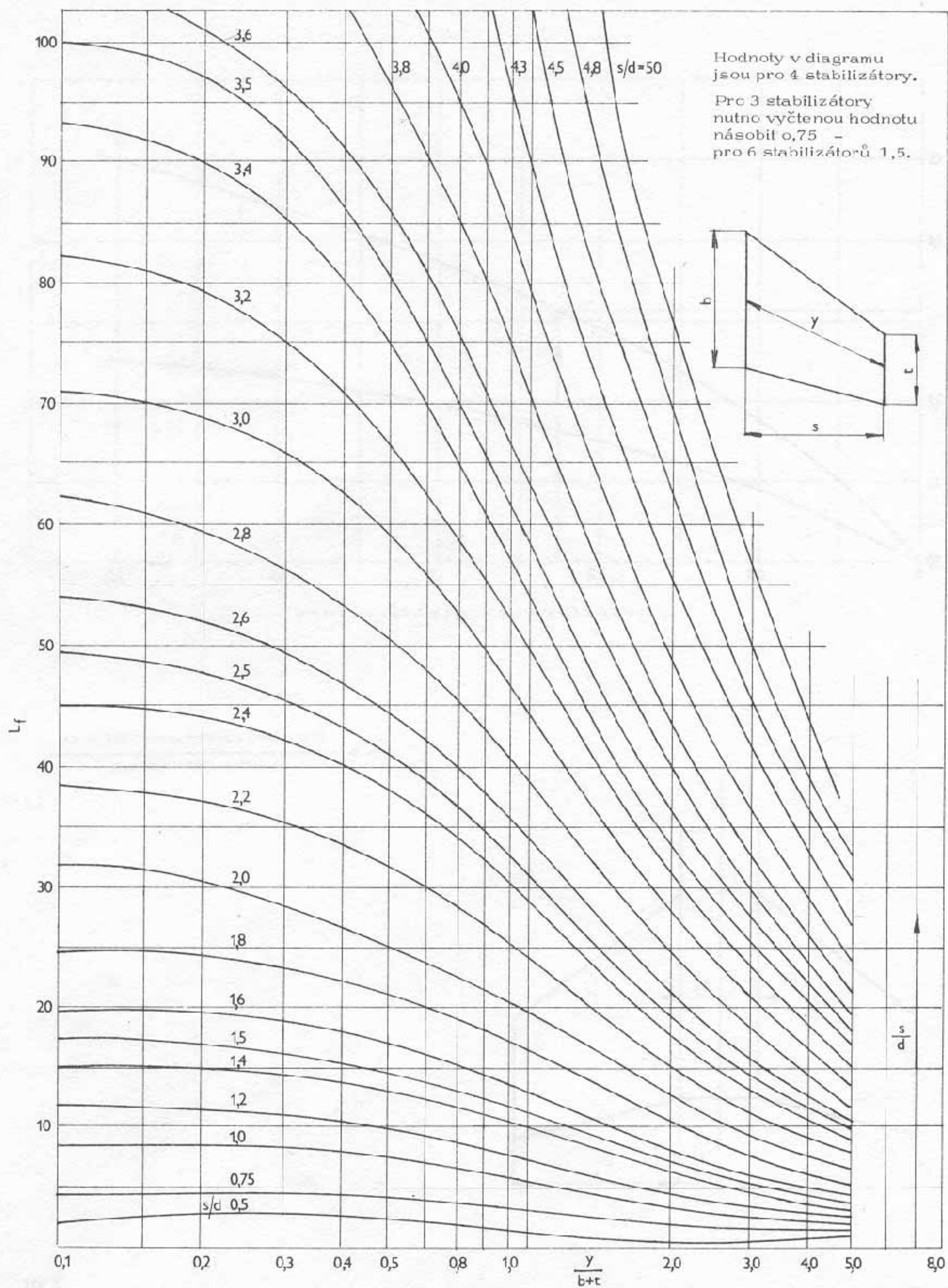


Vzdálenost těžišť aerodynamických sil  
u přechodových kuželů - přední - zadní



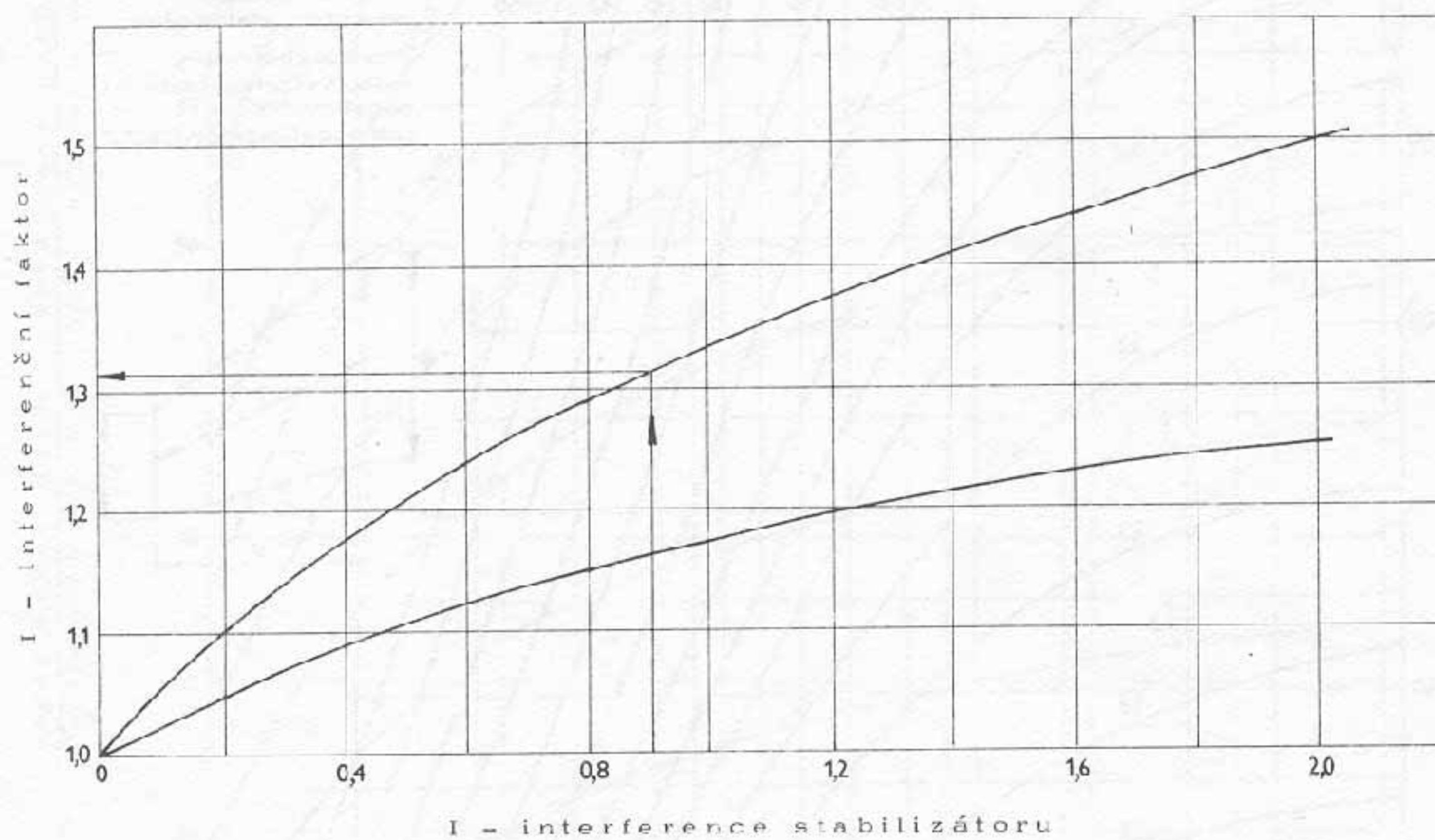
7.16



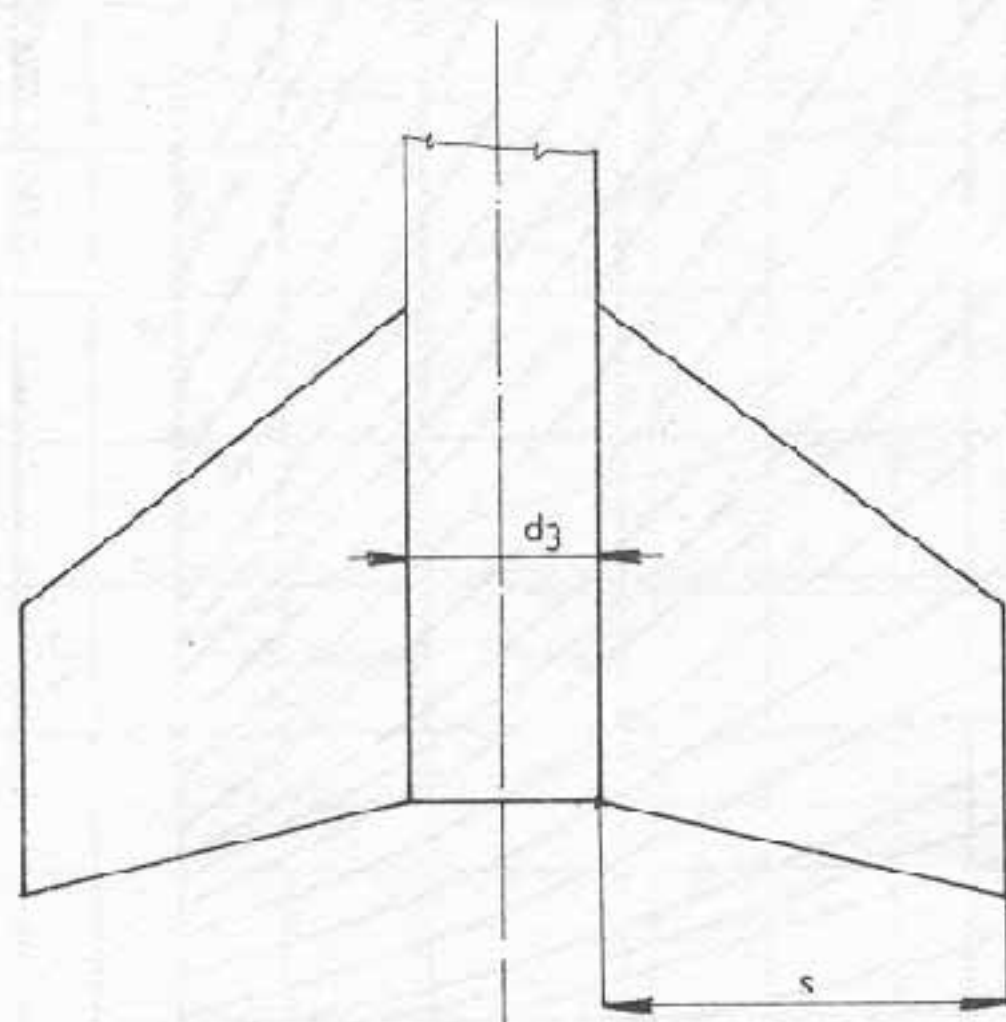


7.17



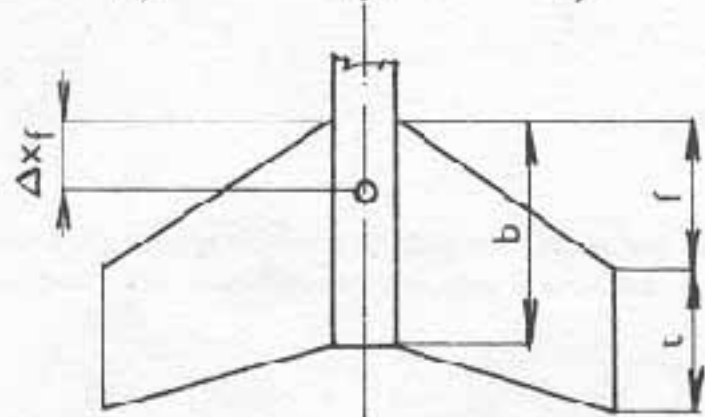
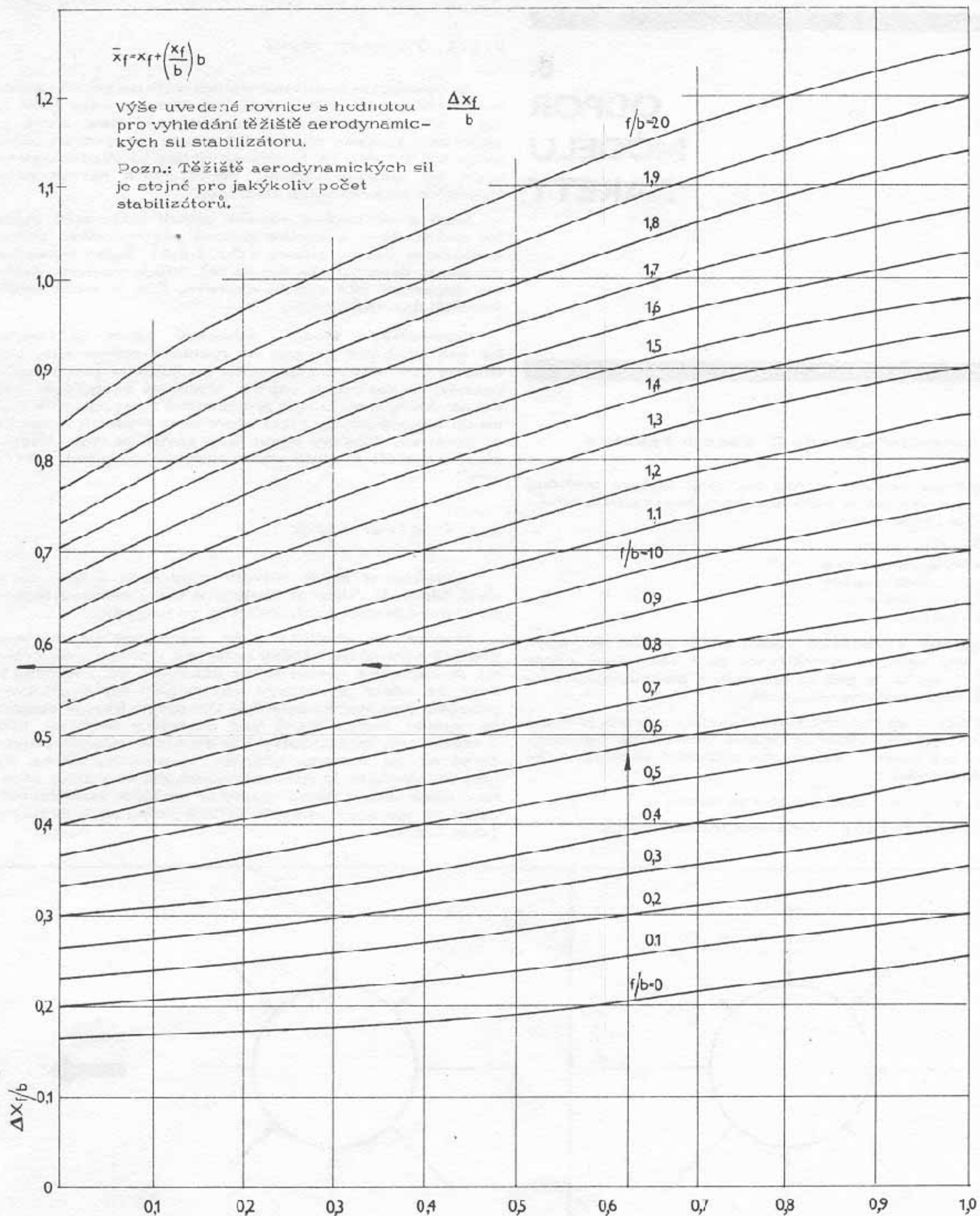


$$\frac{d_3}{s} = \frac{\text{Ø modelu rakety u stabilizátoru}}{\text{výška stabilizátoru}}$$



7.18





$\frac{r}{b} = \frac{\text{koncová tětiva stabilizátoru}}{\text{kořenová tětiva stabilizátoru}}$

7.19



## 8. ODPOR MODELU RAKETY

### 8.1.1. Tlakový odpor

Na vysvětlení tlakového odporu můžeme použít následující příklad: na míč, pokud je v klidu na zemi (obr. č. 8.1), působí okolní sláby atmosférický tlak, který je zobrazen šipkami směřujícími kolmo na povrch míče. Vzhledem k tomu, že atmosférický tlak ve všech částech míče má stejnou hodnotu, nedochází k nerovnováze tlakových sil a nevzniká ani odpor.

Jestliže míč hodíme, vzduch proudí okolo míče, dojde ke změně tlaku a vzniká tlaková nerovnováha, což je podmínkou vzniku odporu (obr. č. 8.2). Šipky zobrazují rozdělení tlaku působícího na míč. Míč je v pohybu doprava, odporová síla působí doprava. Čím je šipka delší, tím větší tlak znázorňuje.

Nerovnováha tlaku – výsledný odpor způsobuje, že míč postupně zpomaluje rychlost svého letu. Lze říci, že 95% odporu působícího na kulovou plochu míče pochází z tlakového odporu. Uvedená skutečnost nutí konstruktéry modelu volit proudnicové tvary, protože mají menší tlakový odpor. Třecí odpor však bude mít stoupající tendenci. Tlakový odpor tedy závisí na tvaru tělesa. Mezi modeláři je tento odpor nazýván „odporem tvarovým“.

### 8.1.2. Třecí odpor

Abychom si mohli vytvořit představu o tom, co je třecí odpor, je nutné si představit velmi ostrou a tenkou plechovou destičku pohybující se ve vzduchu.

Jestliže se destička bude pohybovat ve vzduchu pod nulovým úhlem náběhu vzhledem k vzdušnému proudu, nedochází k nerovnováze tlakových sil. Znamená to tedy, že odpor je nulový? Ne, vzduch se tře při svém proudění po povrchu destičky. Vliv tohoto tření je omezen na tenkou vrstvu těsně pod povrchem destičky, tedy v oblasti tzv. mezní vrstvy, kde rychlost vzduchu prudce klesá až na nulovou hodnotu na povrchu tělesa. Na povrchu destičky je rychlost nulová, ale ve volném prostoru mimo oblast mezní vrstvy je rychlost vzduchu rovnající se rychlosti vzduchu přibližujícího se k destičce. (Obr. č. 8.3)

### 8.1. Co ovlivňuje odpor modelu rakety?

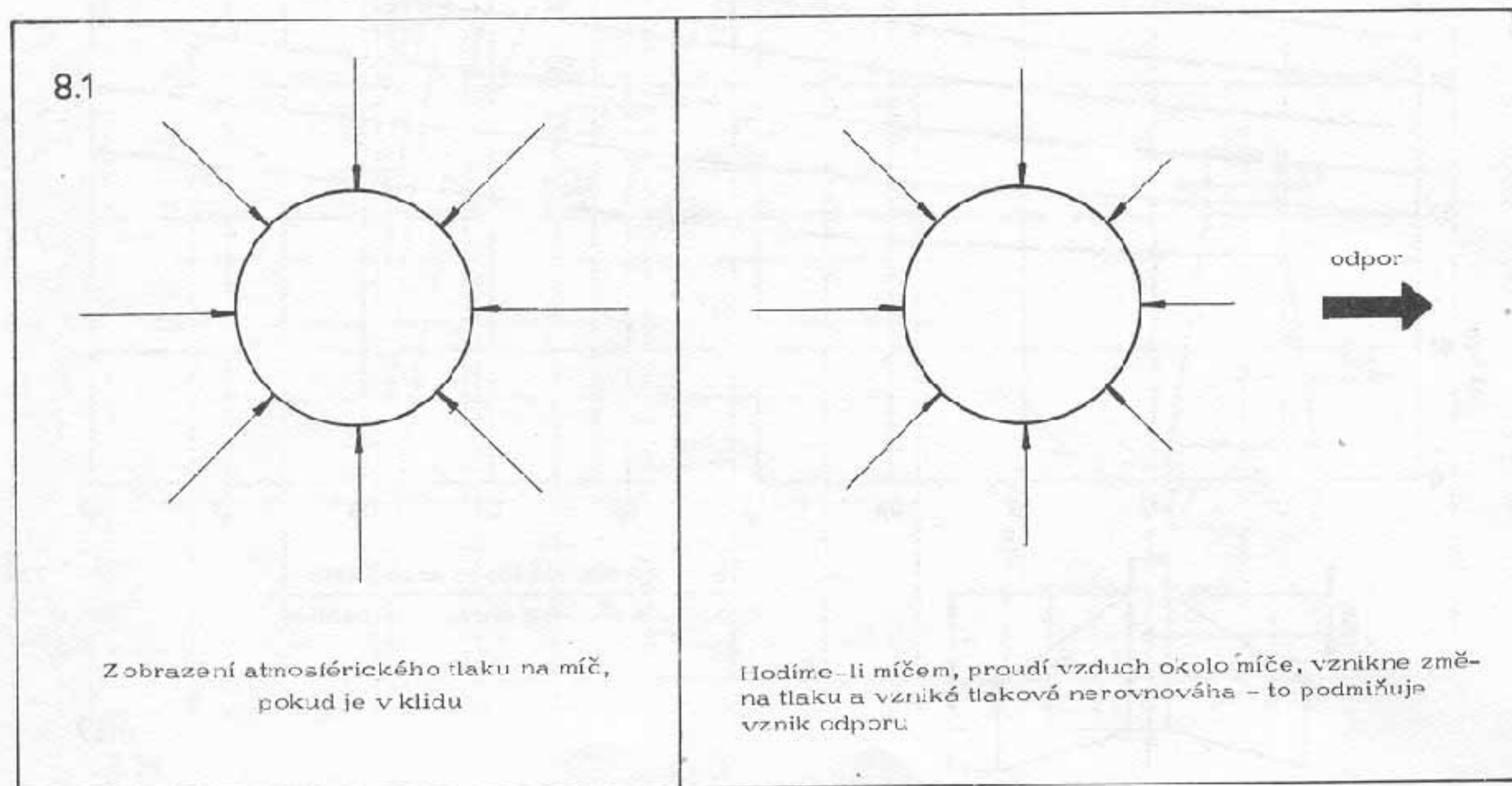
Když se zamyslíme nad tím, jaké faktory ovlivňují aerodynamický odpor modelu rakety, dospějeme k závěru, že jde především o:

- tvar modelu rakety
- rozměry modelu rakety
- rychlost modelu rakety
- hustotu vzduchu
- úhel náběhu.

Při návrzích konstrukce modelů raket je důležité, abychom byli schopni identifikovat okolnosti, které odpor ovlivňují, snížit je pak na minimum a získali neoptimálnější reality navrhovaného modelu.

Budeme-li se hlouběji zabírat studiem odporu, je nutné si položit otázku, odkud se vlastně bere odpor. V podstatě jsou dvě složky vzájemného působení vzduchu a raketového modelu:

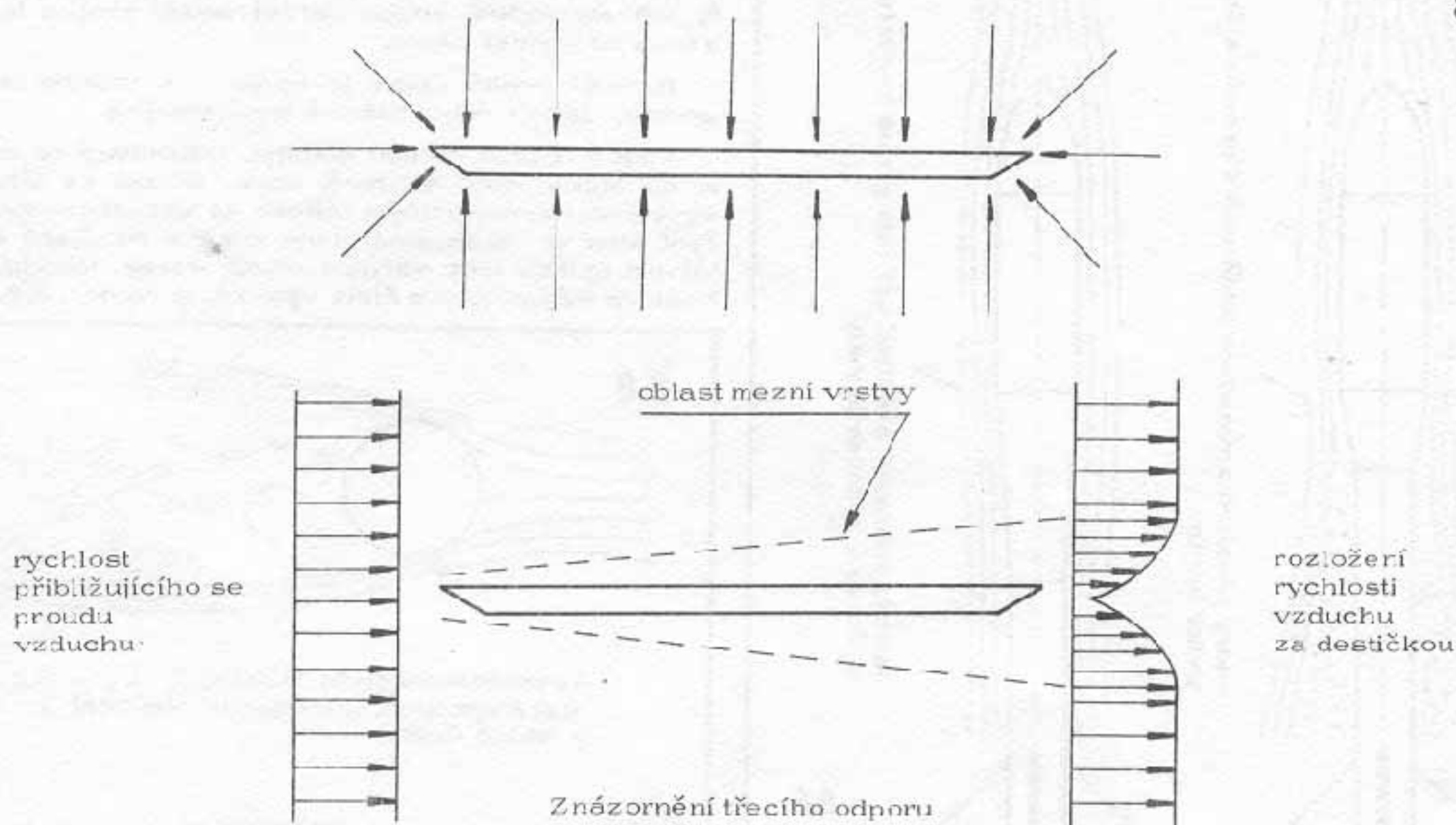
- a) nerovnováha – tlak vzduchu na raketu
- b) tření vzduchu po povrchu raketového modelu.





Na tenké destičce nepozorujeme tlakovou nerovnováhu

8.3

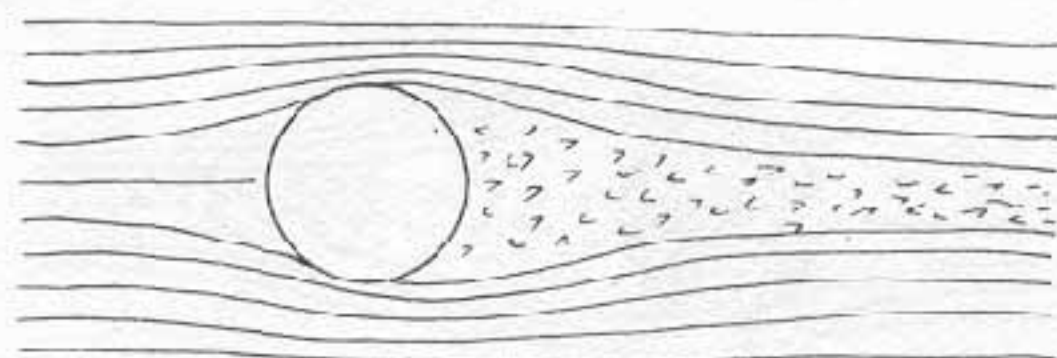


Proudění v mezní vrstvě významně ovlivňuje aerodynamické charakteristiky obtékaných těles. V oblasti tenké mezní vrstvy sehrává důležitou úlohu viskozita vzduchu při určování odporu fluida při proudění nad povrchem. V oblasti mezní vrstvy jsou viskózní efekty dominantní při narůstání třecího odporu.

Je nutné si zapamatovat, že za hlavní příčinu aerodynamického odporu těles s velkým průřezem se pokládá tlakový odpor avšak u těles s velkou plochou povrchu má největší vliv na velikost odporu tření.

### 8.1.3. Viskozita vzduchu

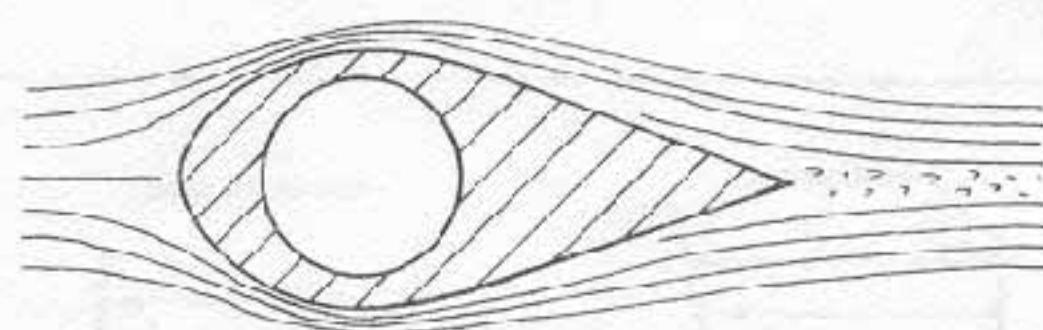
Vzhledem k tomu, že viskozita vzduchu má velký vliv na aerodynamické obtékání těles, je nutné si ji více povšimnout. Za ideálních podmínek je viskozita vzduchu velmi nízká. Hraje však velkou úlohu při tvoření obou typů odporu – tlakového i třecího. V případě třecího odporu působí nepřímo. Vzdušný povrch v případě, že nesleduje obrysy tělesa, se odděluje a z laminárního proudění přechází na turbulentní úplav. Toto oddělování vzdušného proudu je skutečná příčina tlakové nerovnováhy. Změnu velikosti tlakového odporu vidíme na obr. č. 8.4.



8.4

Obtékání rotačního válce; koef. odporu  $C_x = 0,4$

Upravíme-li válec podle obr. č. 8.5, koeficient odporu bude mít hodnotu podstatně menší.



Obtékání proudnicového tvaru;  
koef. odporu  $C_x = 0,03$

8.5

Podstatné snížení velikosti odporu bylo dosaženo snížením oddělování proudnic vzduchu (obr. č. 8.4 a 8.5). Dosáhlo se jej tím, že jsme dovolili zvýšit tlak v zadní části tělesa.

Z předcházející stati už víme, že nízký tlak v úplavě způsobuje tlakovou nerovnováhu a tím i velký odpor. Základní otázkou nadále zůstává zabránit oddělování proudu vzduchu od tělesa a důsledné aerodynamické řešení tvaru tělesa s velmi hladkým povrchem a bez jakýchkoliv ostrých hran ve směru proudění vzduchu. Příklad praktické důležitosti vidíme na obr. č. 8.6.

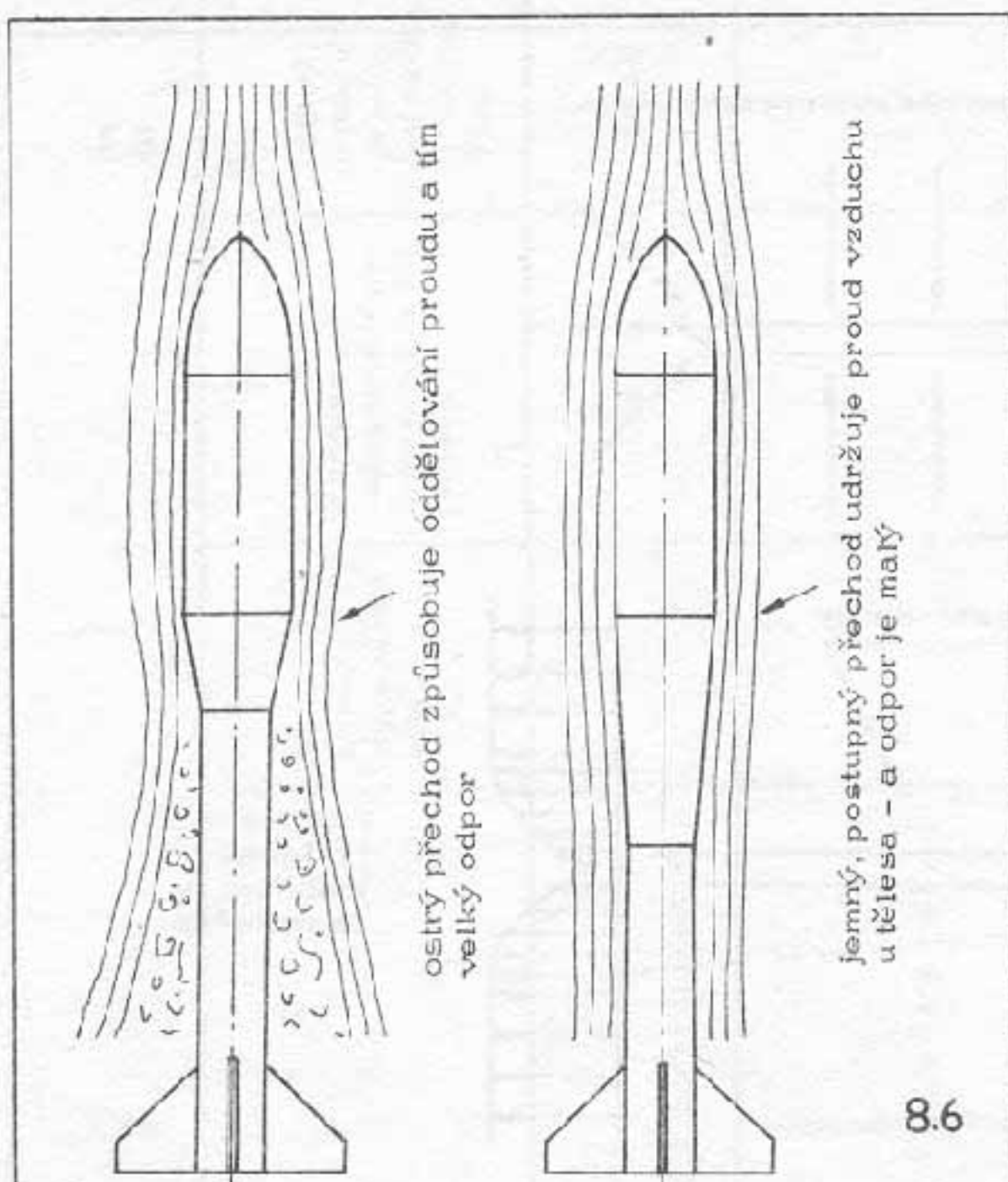
Zkoušky v aerodynamickém tunelu prokázaly, že k zabránění oddělování proudu vzduchu od modelu rakety je nutné za ideálních podmínek vždy dodržet úhel postupného přechodu menší než  $5^\circ$ . Získáme tím model s malým odporem.

### 8.1.4. Turbulentní a laminární proudění

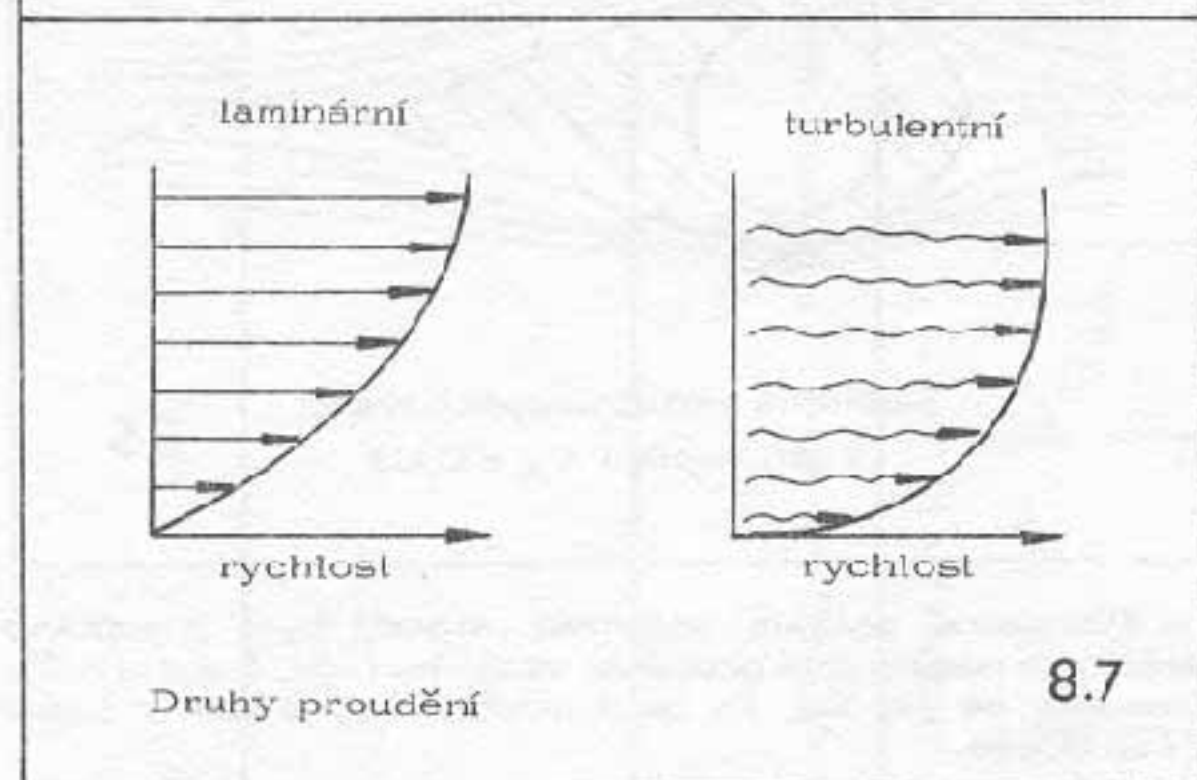
Velmi důležitou úlohu v mezní vrstvě sehrává viskozita proudu vzduchu. Charakter proudění v mezní vrstvě může být dvojitý: (viz obr. č. 8.7)

(Obr. č. 8.6 a 8.7 jsou na následující straně.)





Příklad obtékání - oddělování proudu vzduchu



Druhy proudění

Laminární mezní vrstva se tak nazývá proto, že rozdílné vrstvy vzduchu lehce kloužou jednadruhé. Má téměř přímou změnu rychlosti od vnějšího okraje vrstvy k nulové rychlosti na povrchu tělesa.

U turbulentní mezní vrstvy dochází v důsledku velkého kolísání rychlosti a promíchání různých vrstev k velkým změnám rychlosti objevujících se při povrchu tělesa. Tyto změny rychlosti uvnitř mezní vrstvy se stávají vyrovnanější, když zmenšíme smykové napětí, tj. třecí odpor, který závisí na rychlosti.

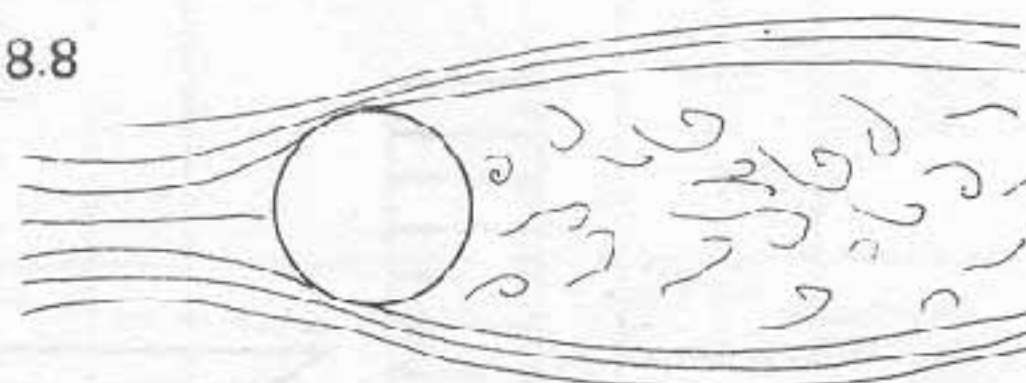
Co tedy ovlivňuje skutečnost, zda bude mezní vrstva laminární nebo turbulentní? Rozhodnutí není tak jednoduché. Výsledek závisí na celé řadě vlivů (rychlost proudění, tlakový spád, drsnost povrchu atd.). Odpověď dává Reynoldsovo číslo, bezrozměrová veličina - velikost, která je určena rychlostí pohybujícího se tělesa, jeho charakteristickou délkou a kinetickou viskozitou prostředí, která výrazně ovlivňuje obtékání tělesa. Pro vzdušné proudy je možné říci, že když je Reynoldsovo číslo menší než 100 000, mezní vrstva bude laminární

a pokud bude vyšší, je turbulentní. V oblasti mezi těmito vrstvami - tj. v přechodové oblasti je neobyčejně těžké předvídat, co se bude v tomto pásmu dít. Je nutné si zapamatovat uvedené zásady a vždy při konstrukci rakety mít maximální snahu udržet mezní vrstvu laminární a tak i malý třecí odpor.

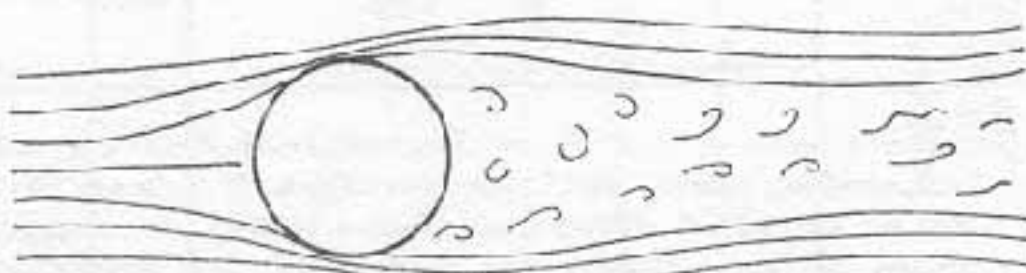
Rovněž velký úplav je spojený s velkým odporem, protože vzniká velká tlaková nerovnováha.

Víry v úplavě nejsou stabilní. Odtahávají se od tělesa a na jejich místě se tvoří nové. Oblast za tělesem je vyplněná nepravidelným vířícím se vzduchem. Na vytváření víru se však spotřebuje značné množství energie. Vlivem úplavu tedy vzrůstá odpor tělesa. Příklad, kdy je hodnota Reynoldsova čísla vysoká, je na obr. č. 8.8.

8.8

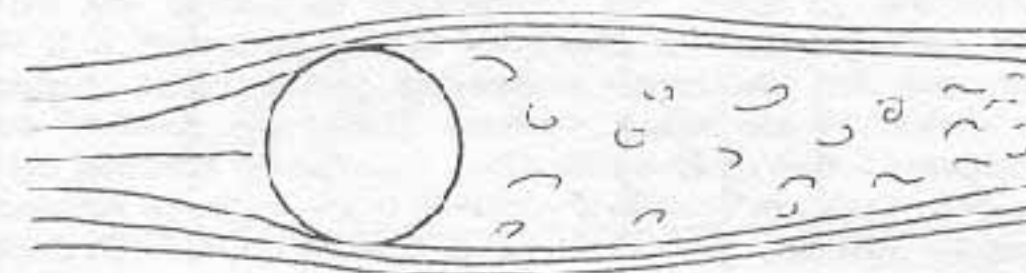


Reynoldsovo číslo 1 000 000;  $C_x = 0,47$   
nízká rychlost, podkritické obtékání -  
- velký úplav

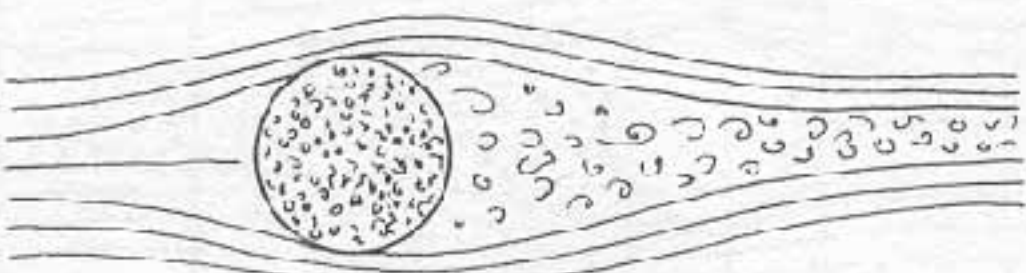


Reynoldsovo číslo 1 000 000;  $C_x = 0,10$   
vysoká rychlost, nadkritické obtékání -  
- malý úplav

Proudové pravidlo obtékání hladké kulové plochy



Hladká kulová plocha;  $C_x = 0,47$   
Reynoldsovo číslo 300 000



Jamkovitá kulová plocha;  $C_x = 0,10$   
Reynoldsovo číslo 300 000

Porovnání proudů obtékajících hladkou a jamkovitou kulovou plochu

8.9



V případě „b“ hodnota Reynoldsova čísla vytváří menší oddělování proudnic a tím podstatně menší úplav.

Z toho vyplývá, že turbulentní mezní vrstva má tendenci odolávat oddělování proudnic ve větší míře než laminární vrstva. Dá se to vysvětlit tím, že větší rychlost dovoluje turbulentní vrstvě víc přilnout k povrchu kulové plochy než u laminární vrstvy.

Při konstruování modelu raket je nutné si uvědomit, že velikost a rychlost rakety s hladkým povrchem dovoluje, aby se raketa dostala brzo do Reynoldsova čísla, které má laminární proudění. Dříve vzniká oddělování a tím i velké úplavy s odpovídajícím vysokým odporem.

Abychom podpořili turbulentní proud, vytváříme na povrchu trupu rakety drážky (jamky), pomocí nichž se mezní vrstva stává turbulentní, zmenšuje se velikost úplavu a značně se snižuje celkový odpor rakety. Turbulentní mezní vrstva má však větší plášťový třecí odpor než laminární mezní vrstva. (Obr. č.8.9)

Platí tedy, že jsme schopni snížit celkový odpor rakety vytvořením turbulentní mezní vrstvy jen proto, že velké část tohoto odporu byla způsobena tlakovým odporem vzniklým v důsledku oddělování proudnic.

## 8.2. Úvod do analýzy odporu raket

Rychlost, dostup a dolet skutečné rakety i našeho modelu závisí na aerodynamickém odporu. Jedním z hlavních úkolů modeláře je správně určit odpor modelu a podle zpracovaných teoretických výpočtů raketu zhotovit.

Analýza odporu u raket, které mají poměrně složité aerodynamické tvary, se zpravidla zjednodušuje tím, že bereme raketu jako celek vytvořený z několika jednoduchých základních částí. Určujeme při tom odpor každé části zvlášť a identifikuje se každá část rakety, která má vliv na nadbytečný odpor.

### 8.2.1. Zdroje odporu

Model rakety můžeme rozdělit na:

- trup rakety
- soubor stabilizátorů.

Trup rakety bude vyvolávat tlakový i plášťový třecí odpor. Soubor stabilizátorů bude vytvářet většinou třecí odpor.

Hodnota kteréhokoliv typu odporu bude záviset na tvaru rakety. Pro lehčí řešení odporu rakety si rozložíme odpor na následující části:

- odpor válcové části trupu
- odpor zadní části trupu
- odpor stabilizátoru.

Celkový odpor je součtem odporu všech částí. (Obr. č.8.10)

Víme, že odpor závisí na velikosti a tvaru rakety, na její rychlosti a na hustotě vzduchu. To znamená, že změni-li se kterákoliv z uvedených hodnot, změní se i velikost odporu. Při výpočtech je výhodnější pracovat s jednotlivými koeficienty odporu jednotlivých částí, než provést jejich součet a dosadit do rovnice pro výpočet celkového odporu modelu rakety.

Celkový odporový koeficient  $C_X$  modelu rakety je dán vzorcem:

$$C_X = C_{XH} + C_{XTR} + C_{XOC} + C_{XST} \quad (9)$$

kde:

$C_{XH}$  = odporový koeficient hlavičky

$C_{XTR}$  = odporový koeficient trupu

$C_{XOC}$  = odporový koeficient zadní části trupu

$C_{XST}$  = odporový koeficient stabilizátoru.

### 8.2.2. Interferenční odpor

K základním koeficientům uvedeným v rovnici (9) musíme přidat další dva přírůstky odporu, abychom získali celkový odpor rakety. Jde o:

- přírůstek odporu způsobený připojením stabilizátorů k trupu rakety. Vzduch obtéká trup rakety a stabilizátory a má sklon k vzájemnému překážení. Tato změna proudového pravidla způsobuje, že odpor narůstá a nabývá hodnotu vyšší než jednoduchý součet dvou komponentů. Zvýšený odpor se nazývá „interferenční odpor“ -  $C_{XINT}$ . Interferenční odpor může dosáhnout až o 10% vyšší hodnotu, než je prostý součet odporů stabilizátoru a trupu rakety.
- přírůstek odporu způsobený jakýmkoliv jiným komponentem (např. vodítkem) s označením odporového koeficientu  $C_{XSP}$ .

Potom celkový odporový koeficient bude:

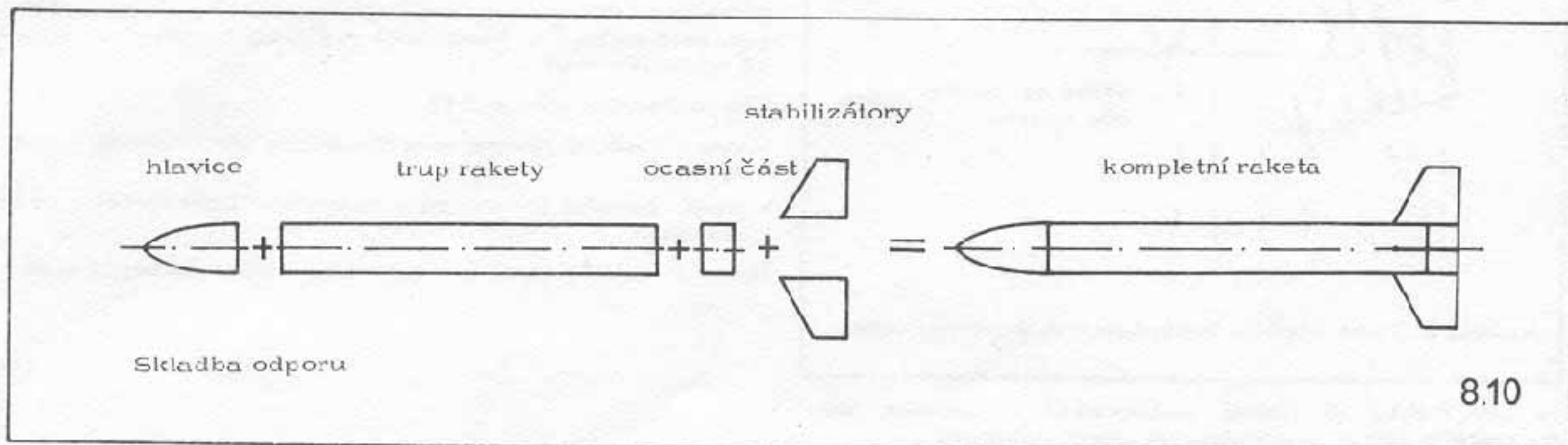
$$C_{XO} = C_{XH} + C_{XTR} + C_{XCC} + C_{XST} + C_{XINT} + C_{XSP} \quad (10)$$

Konstruktor si musí zjistit odporové koeficienty všech částí rakety a to buď teoretickým výpočtem nebo praktickým přeměřením v aerodynamickém tunelu.

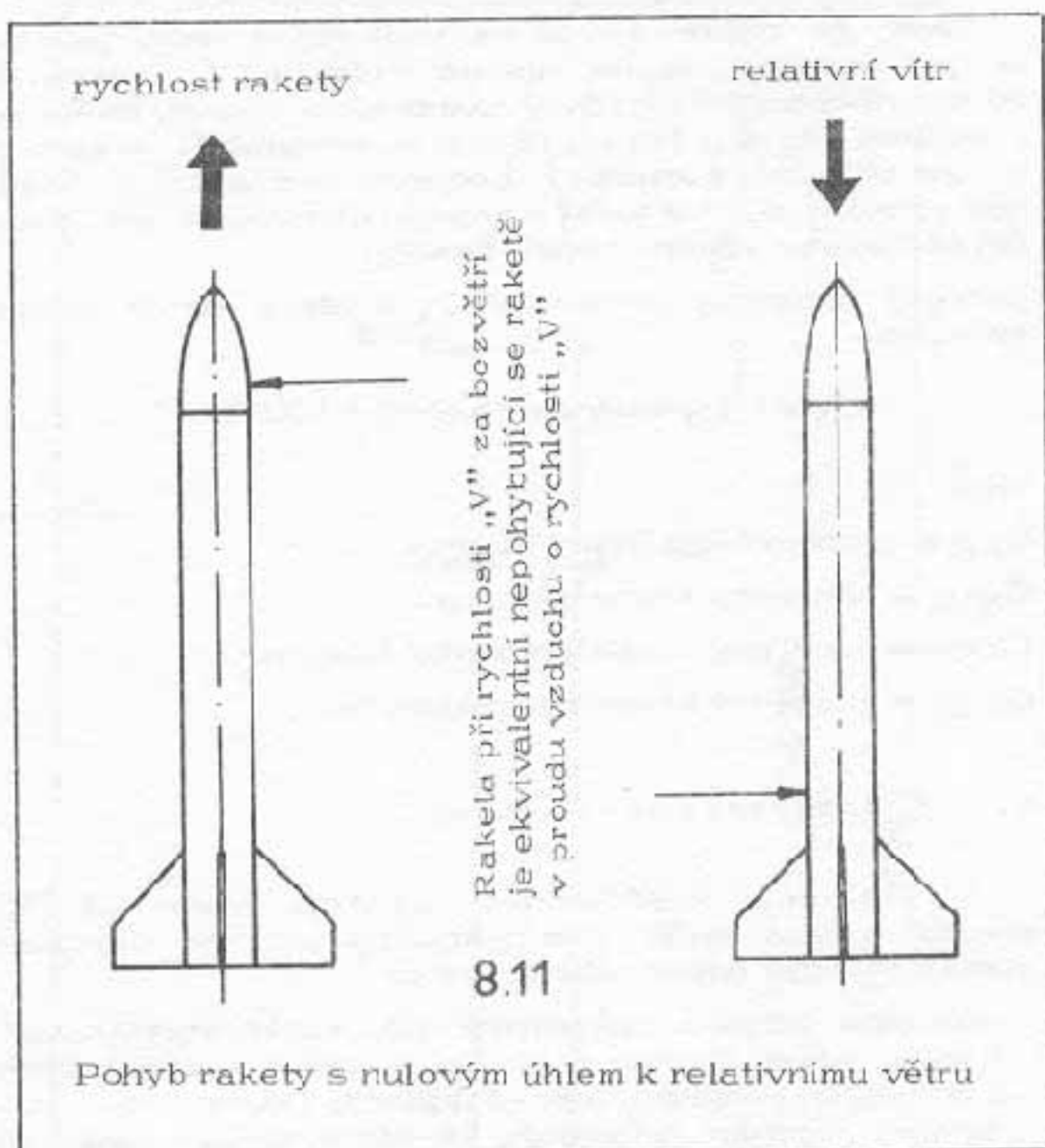
### 8.2.3. Indukovaný odpor

Index „O“ v zápise  $C_{XO}$  je tu použitý ze speciálního důvodu. Tento odporový koeficient představuje odpor rakety, když se pohybuje přímo proti větru a úhel, který svírá se vzdušným proudem je nulový (obr. č.8.11). (Obrázek č.8.11 je na následující straně.)

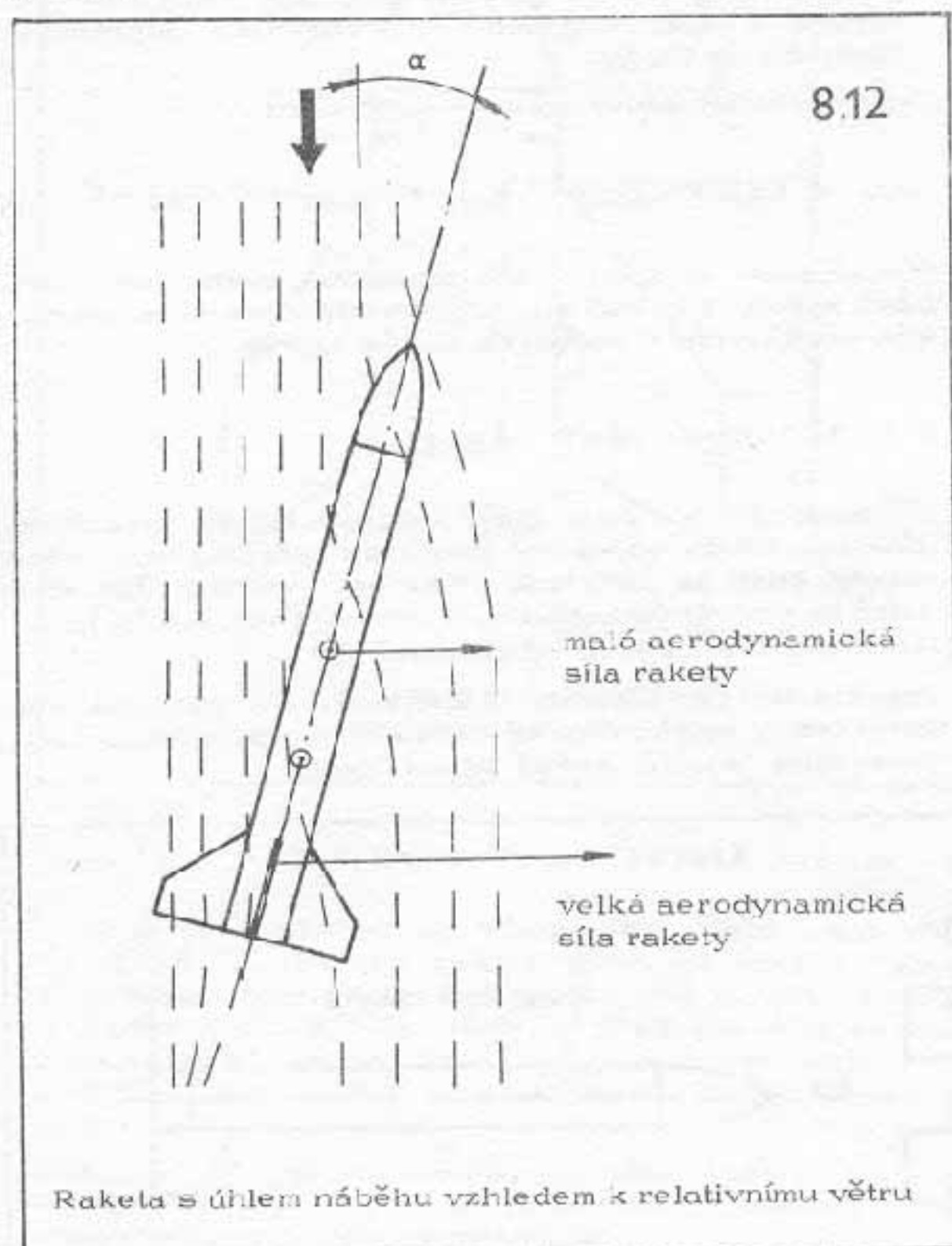
Vypočtením odporového koeficientu při nulovém úhlu vzhledem k relativnímu větru, který je dán rovnicí (10), dostaneme nejmenší možný odpor rakety.







Podaří se vždy let rakety s nulovým úhlem, vzhledem k relativnímu větru? Rozhodně ne, tím vzniká další zvětšení odporu rakety a výsledky letu rakety nedosahují požadované hodnoty. Odkud se vlastně bere tento zvláštní odpor?

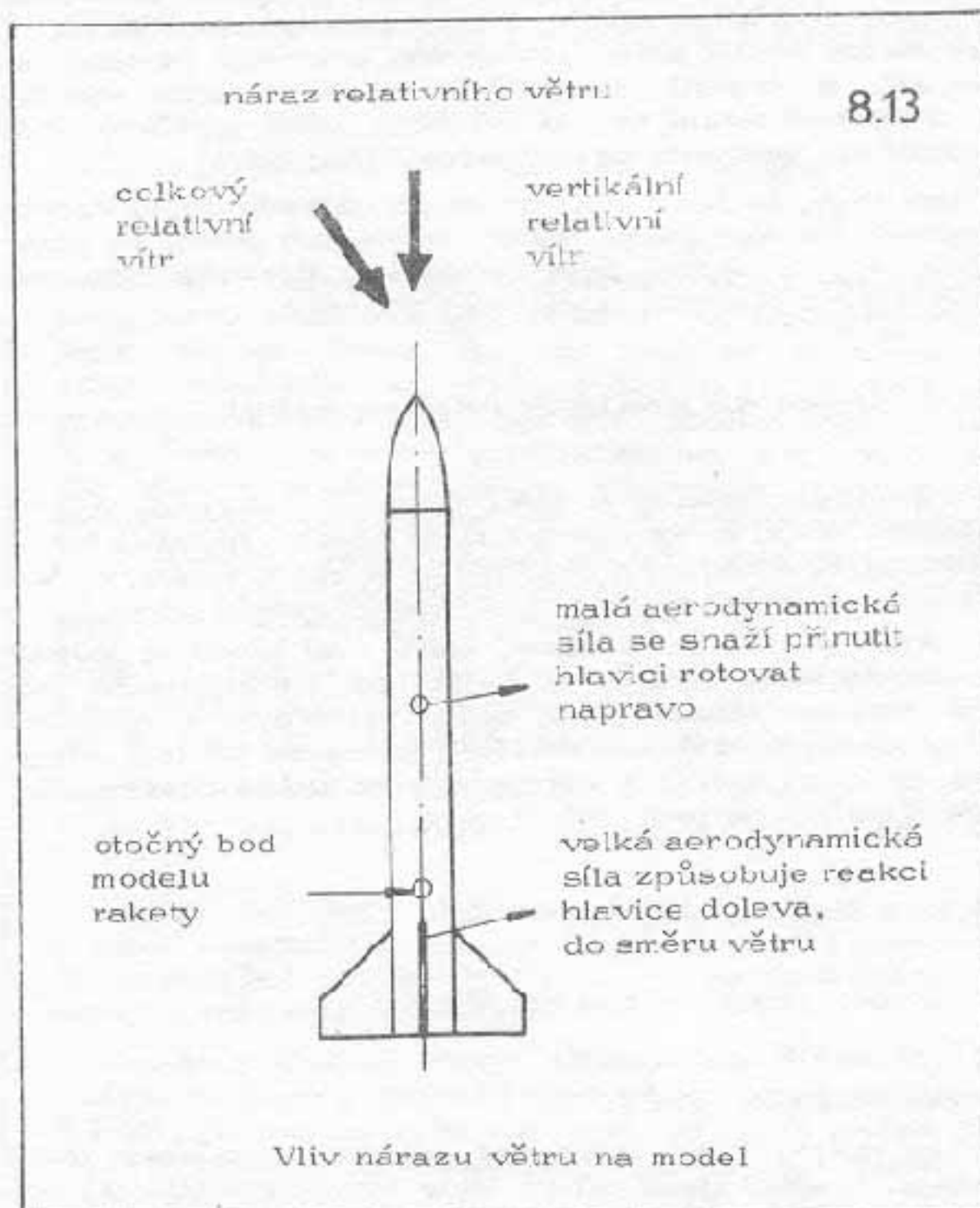


Na obr. č. 8.12 je raketa znázorněná v určitém úhlu vzhledem k větru; nazýváme jej „úhel náběhu“.

Kdykoliv, když raketa letí s určitým úhlem náběhu, mění se proud vzduchu a dochází k zvětšení celkového odporu rakety. Aerodynamici tvrdí, že let s úhlem náběhu způsobuje anebo „indukuje“ odpor a proto se tento odpor nazývá indukovaným odporem.

Rozhodující snížení indukovaného odporu se dosahuje důslednou stabilizací rakety. Stabilitu letu rakety správně dosahujeme použitím stabilizátorů. Cena, kterou zaplatíme za dosažení stability letu rakety, je dodatečný odpor stabilizátorů – tj. třecí odpor, tlakový odpor a indukovaný odpor.

Je nutné si zapamatovat, že stabilita letu rakety podstatně ovlivňuje velikost odporu modelu rakety!



Z obr. č. 8.13 vyplývá, že stoupá-li model rakety při vertikální rychlosti 60 m/s, naráží na horizontální síly o rychlosti 5 m/s a vytvoří se úhel náběhu přibližně 5°. Jak bude model na tento úhel reagovat, to bude záviset na jeho stabilitě. Stabilní rakety, které mají odpovídající aerodynamickou sílu stabilizátorů, aby převýšila aerodynamickou sílu trupu rakety, vrátí se k nulovému úhlu náběhu rotací okolo hmotného těžiště rakety.

Jaký čas si vyžádá vrácení rakety do nulového úhlu náběhu, to závisí na důsledném teoreticky vykonaném výpočtu návrhu rakety a též oproti po měření v aerodynamickém tunelu. Čím bude doba delší, tím budou požadované výsledky horší.

Všeobecně lze shrnout že:

- velmi stabilní rakety se k nulovému úhlu náběhu vrátí rychleji
- méně stabilní rakety se k nulovému úhlu náběhu vrátí pomaleji.

Rozbor stability jsme si zdůvodnili v předcházející stati.

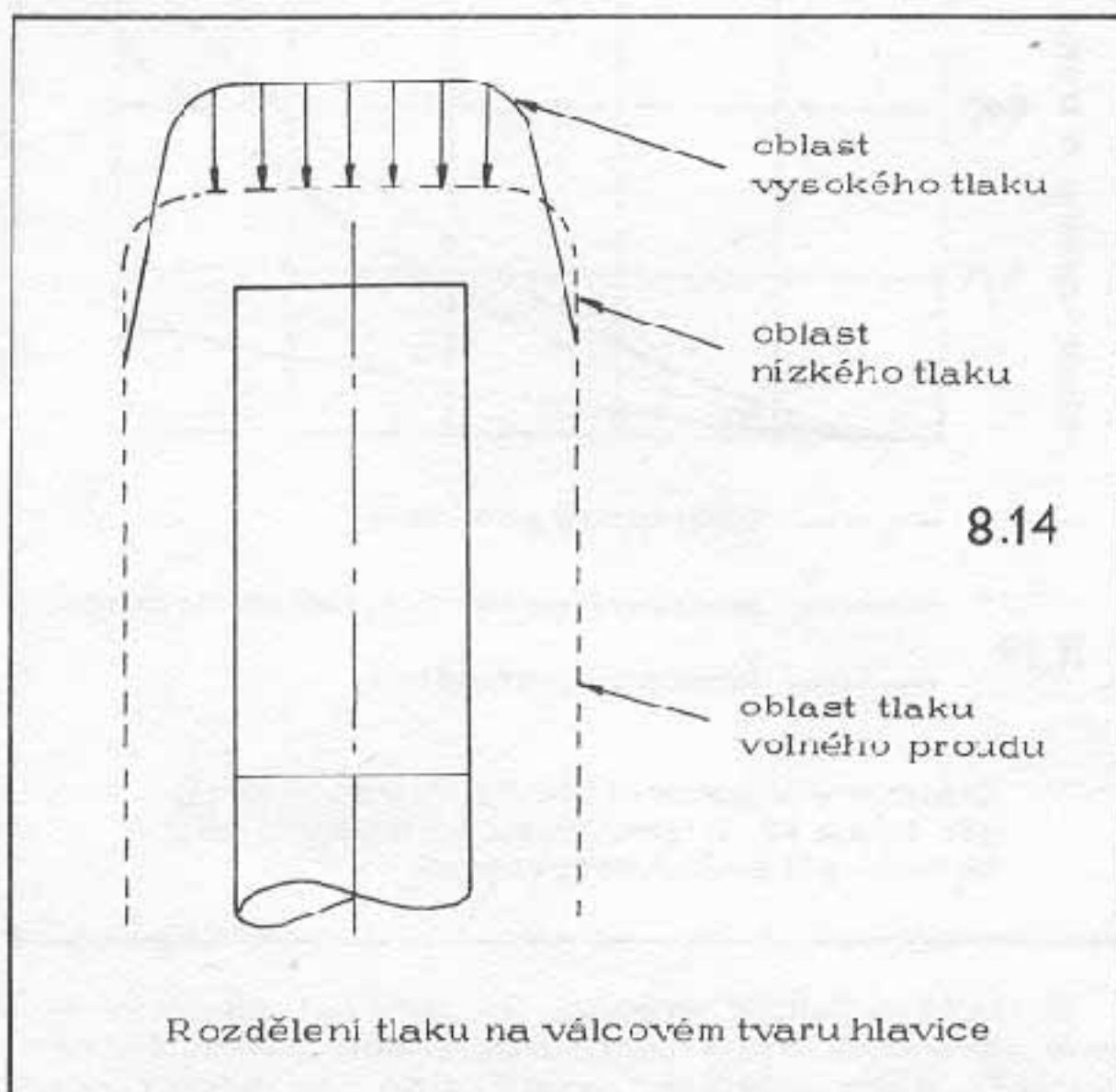


### 8.3. Odpor jednotlivých částí raketového modelu

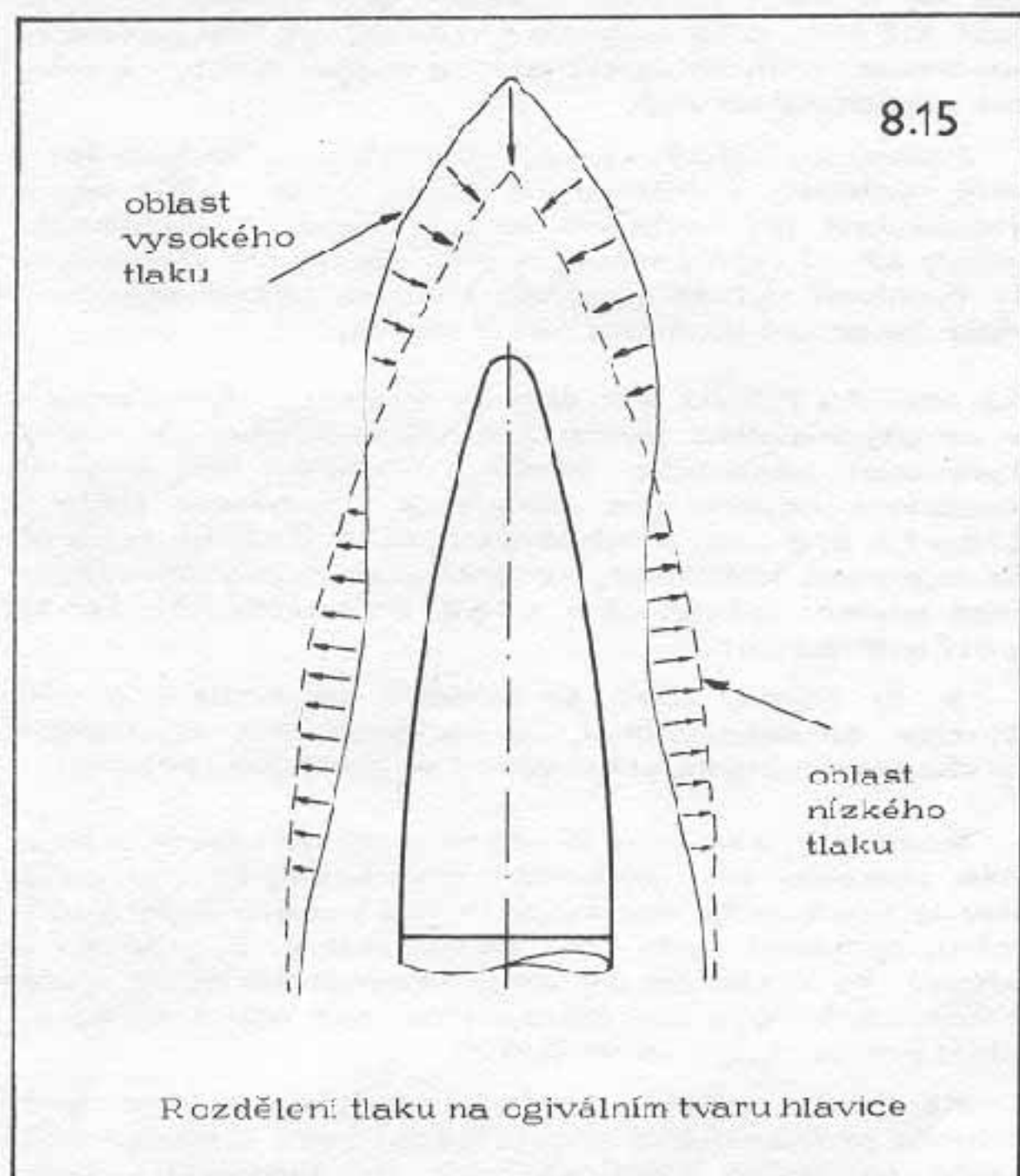
#### 8.3.1. Odpor hlavičky rakety

Odpor hlavičky rakety se skládá z odporu tvarového a odporu třecího. Při návrhu hlavičky je nutné dbát především na dobré aerodynamické řešení.

Naprostě nevyhovující tvar hlavičky jaký můžeme použít, je plochý tvar (obr. č. 8.14), kde koeficient



odporu  $C_x$  má hodnotu vyšší než 0,8. Není těžké si představit, že odpor hlavičky tohoto tvaru je velký. Stačí se podívat na oblast vysokého tlaku v přední části hlavi-

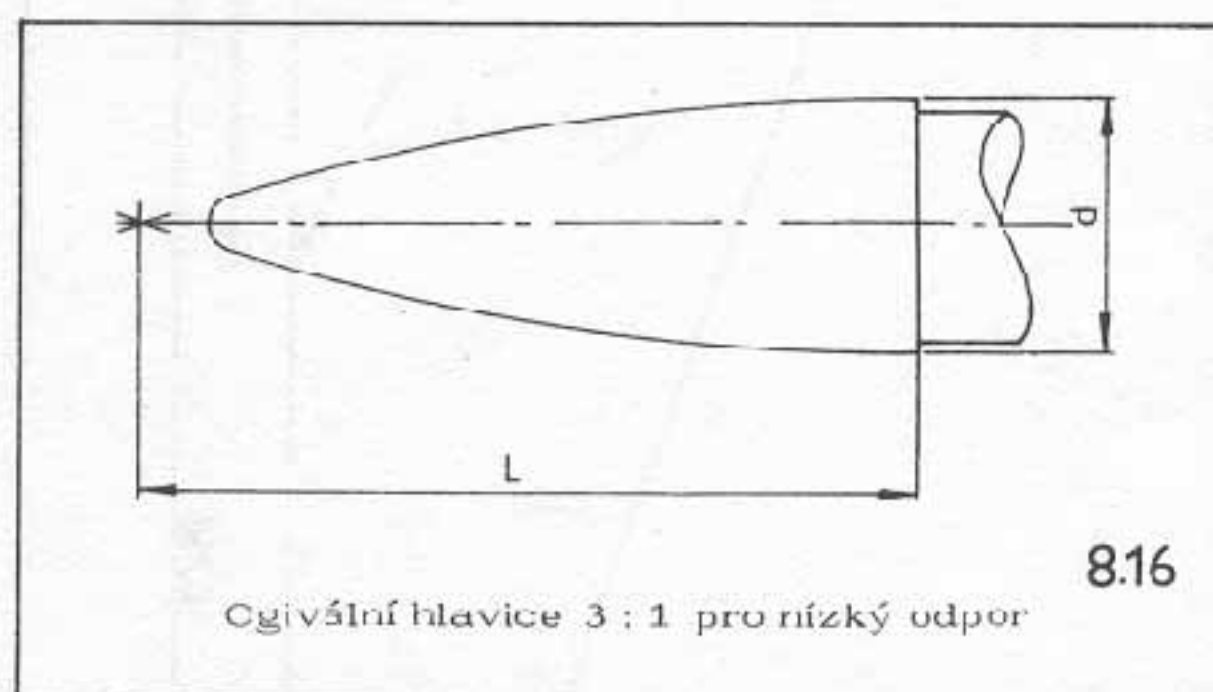


ce, který působí na tento plochý povrch. Velmi jednoduchou úpravou tvaru hlavičky můžeme skutečně podstatně snížit odpor hlavičky.

Prostudujeme-li si pozorně obr. č. 8.15, zjistíme, že tlak na povrchu klesá pod hodnotu atmosférického tlaku. To znamená, že na určité části hlavičky působí podtlak a může se proto za optimálních podmínek dosáhnout nižší součinitele odporu. Tento tvar při malém tahu bude skutečným přínosem pro raketu.

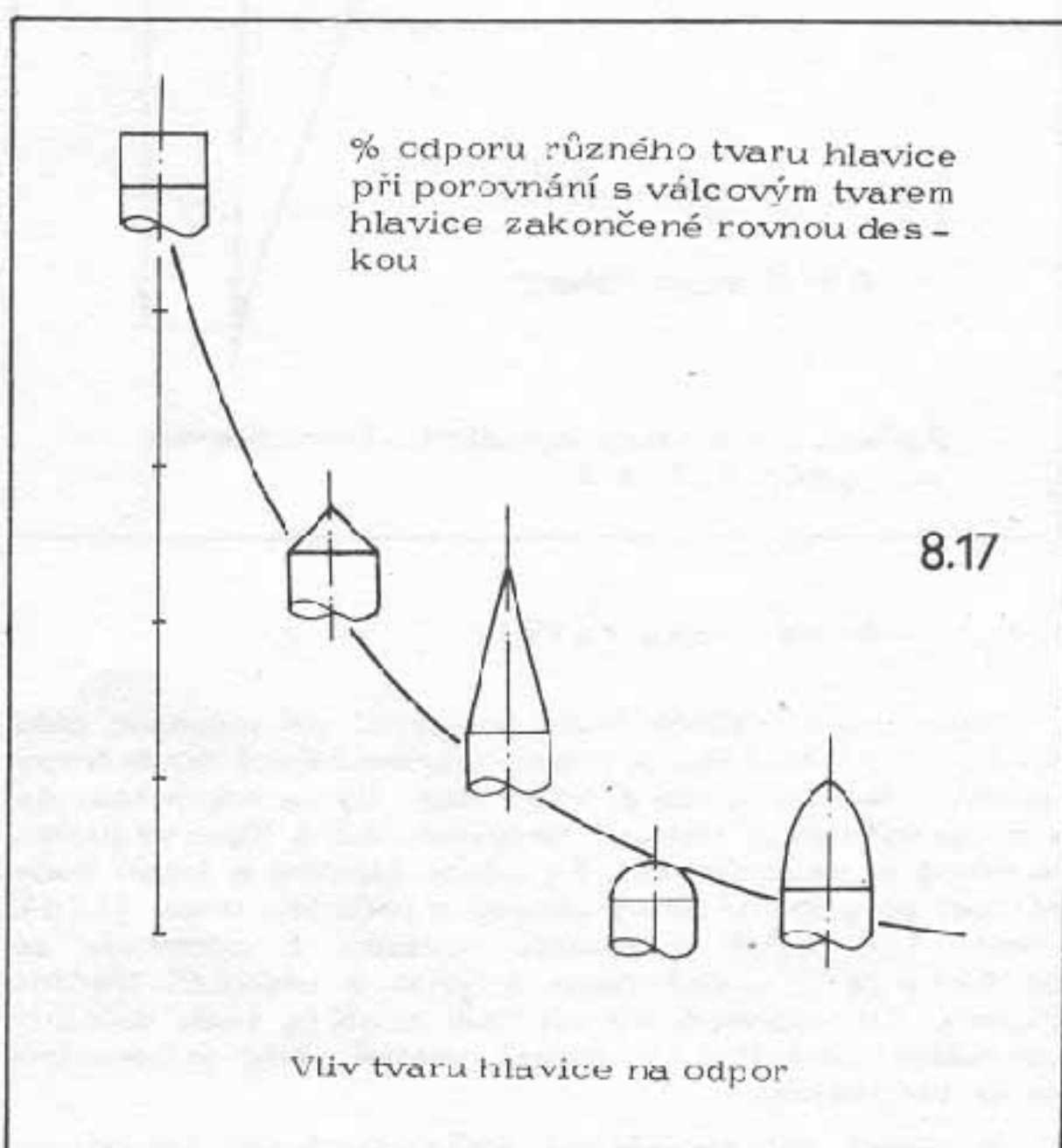
Je důležité si zapamatovat, že modely raket pro podzvukové oblasti musí mít zaoblenou špičku s poloměrem  $r=1,6$  až  $3,2$  mm. Tím se dosáhne optimálnější odporové hodnoty, zabrání se odtržení proudnic na špičce rakety hlavně tehdy, když hlavička kmitá při plném tahu motoru v době stoupání rakety.

U třístupňových modelů raket se dosahuje při použití výborných motorů u posledního stupně nadzvukové rychlosti a proto špička hlavičky musí být ostrá.

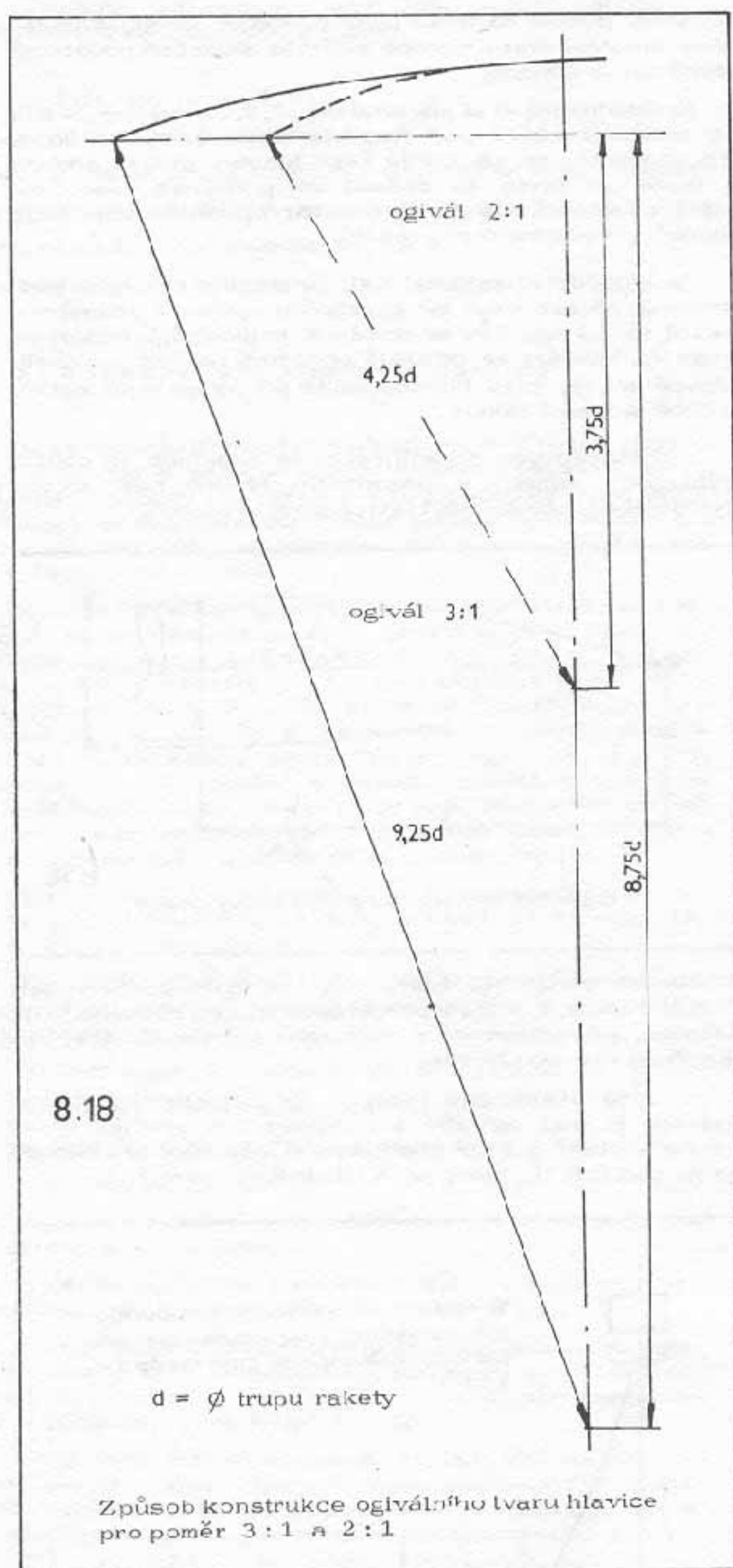


Vhodnost použitého tvaru hlavičky na modelu rakety vidíme na obr. č. 8.16, v procentech odporu různého tvaru hlavičky, při porovnání s válcovým tvarem hlavičky, zakončené rovnou plochou.

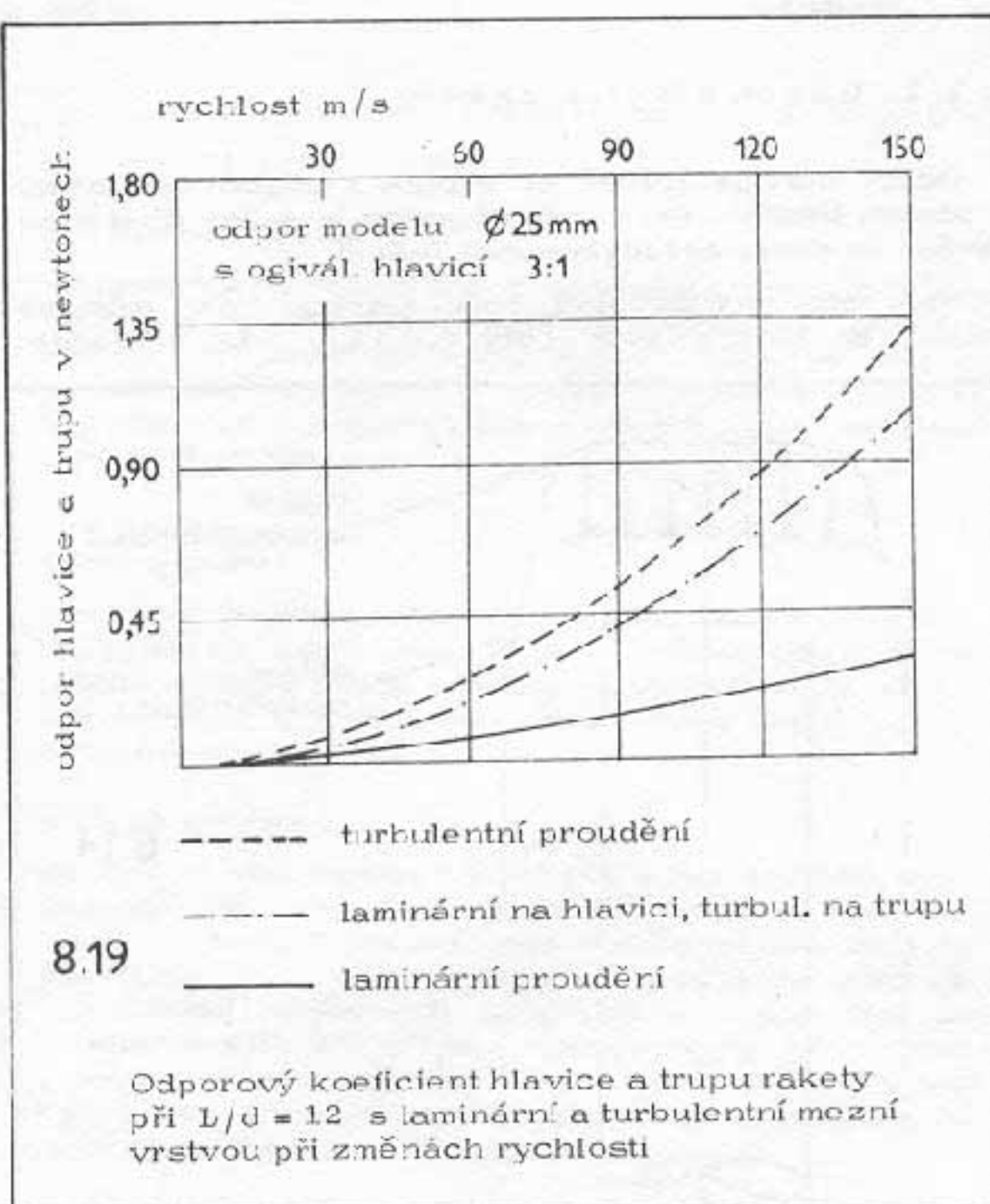
Z výše uvedeného vyplývá, že neoptimálnější tvar hlavičky je tvar ogivální s poměrem 3:1 pro její nízký odpor - obr. č. 8.17. Konstrukce ogiválního tvaru hlavičky je na obr. č. 8.18, který je na následující straně.







zvyšováním rychlosti. O třecím odporu na hlavičce se zmíníme v dalších státech.



Z obrázku č. 8.19 vyplývá, že velikost odporové síly bude záviset na druhu mezní vrstvy, která pokrývá model. Nejmenší odpor získáme, podaří-li se nám udržet mezní vrstvu laminární.

Z praxe víme, že se modelářům podaří laminární proudění u hlavičky a u trupu turbulentní. Výsledná odporová síla se v tomto případě nachází mezi dvěma křivkami (obr. č. 8.19). Z toho vyplývá nutnost věnovat maximální pozornost přechodu mezi hlavičkou a trupem rakety – a rovněž povrchové úpravě.

Z obrázku č. 8.19, rovněž vyplývá, že při zdvojnásobení rychlosti z 60 m/s na 120 m/s se zvýší odpor trojnásobně při laminární mezní vrstvě. U turbulentní vrstvy až na čtyřnásobek. Je tedy zřejmé, že při jakékoli rychlosti vytváří turbulentní vrstva několikanásobně větší odpor než laminární mezní vrstva.

Na obrázku č. 8.20 jsou shrnuty výsledky měření modelu v aerodynamickém tunelu a z průběhu křivek je možné zpracovat následující závěry. Obrázek nám ukazuje koeficient odporu pro modely s poměrem  $L/d = 8$ ,  $L/d = 12$ ,  $L/d = 16$ . Z uvedených průběhů křivek vyplývá, že odporové koeficienty se snižují se zvyšováním rychlosti modelu rakety. To však neznamena, že se snižuje odpor.

Je to chyba, které se modelář zpravidla dopouští. Musíme si zapamatovat, že odporová síla se získává vynásobením koeficientu odporu se čtvercem rychlosti.

Rozsah  $L/d = 5-20$  je pro tři rychlosti rakety. Křivky nám pomohou při navrhování modelu tím, že znázorňují trendy koeficientů odporu při změně poměru délky a průměru, rychlosti nebo typu mezní vrstvy. Z obrázku je zřejmé, že koeficient odporu pro turbulentní mezní vrstvu závisí na poměru  $L/d$  daleko více, než odporový koeficient pro laminární mezní vrstvu.

Na druhé straně z obrázku vyplývá, že koeficienty odporu pro laminární mezní vrstvu jsou o mnoho citlivější na změnu rychlosti, než pro turbulentní mezní

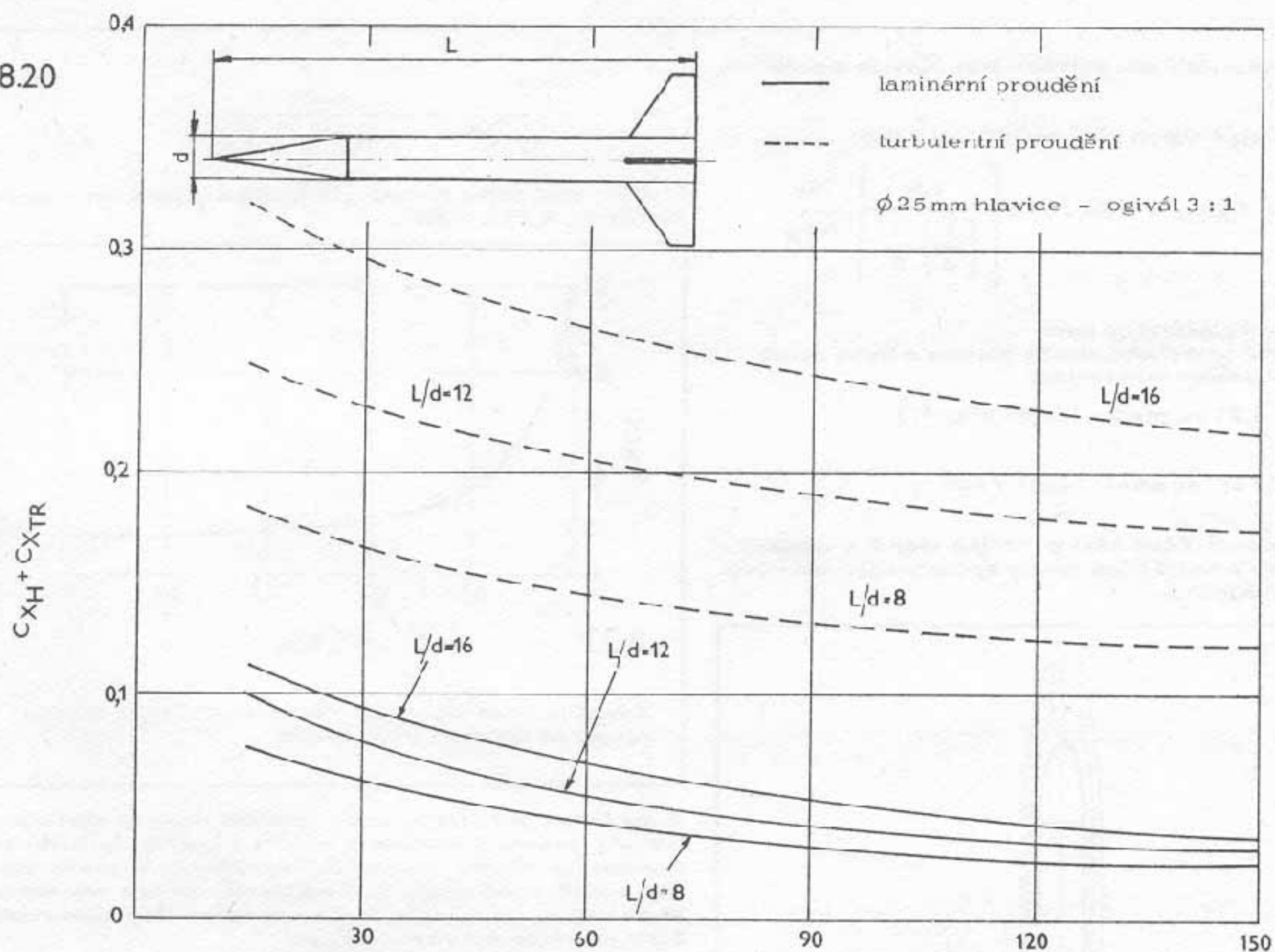
### 8.3.2. Odpor trupu rakety

Odpor trupu rakety bude nejmenší při nulovém úhlu náběhu. Do této části je nutné zahrnout třecí odpor trupu rakety. Základní faktory, které mají vliv na odpor hlavičky a trupu rakety, je tlaková nerovnováha a tření vzduchu. Je nutné si zapamatovat, že odpor hlavičky a trupu bude záviset na poměru délky rakety k průměru trupu ( $L/d$ ). Poměr  $L/d$  bývá u modelů rozdílný a pohybuje se od  $L/d = 12:20$ , což úzce souvisí s velikostí třecího odporu. To znamená, že při naší analýze bude důležitý charakter proudění v mezní vrstvě, zda je laminární nebo turbulentní.

Je nutné mít na zřeteli změnu velikosti odporu se

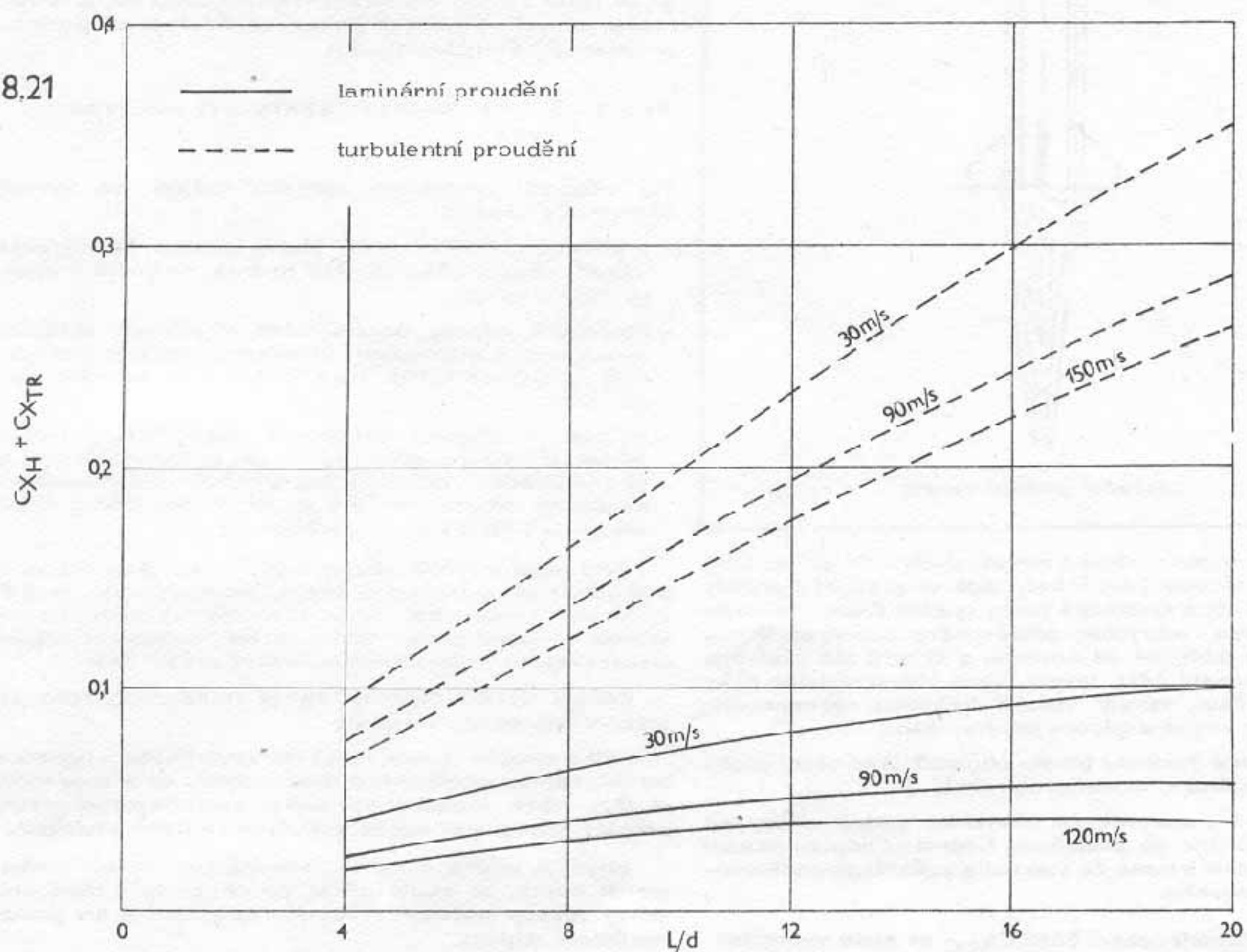


8.20



Odporový koeficient hlavice a trupu modelurakety při změnách rychlosti pro některé  $L/d$

8.21



Koeficient odporu hlavice a trupu modelu rakety při různém  $L/d$



vrstvu. Křivky platí pro ogivální tvar hlavičky s poměrem 3:1.

Při řešení  $C_{XH} + C_{XTR}$  platí následující vztah:

$$(11) \quad C_{XH} + C_{XTR} = 1,02 \cdot C \cdot 1 \left[ \frac{1,5}{\left(\frac{L}{d}\right) \frac{3}{2}} \right] \cdot \frac{S_W}{S_{TR}}$$

kde:

$C$  = koeficient plášťového tření

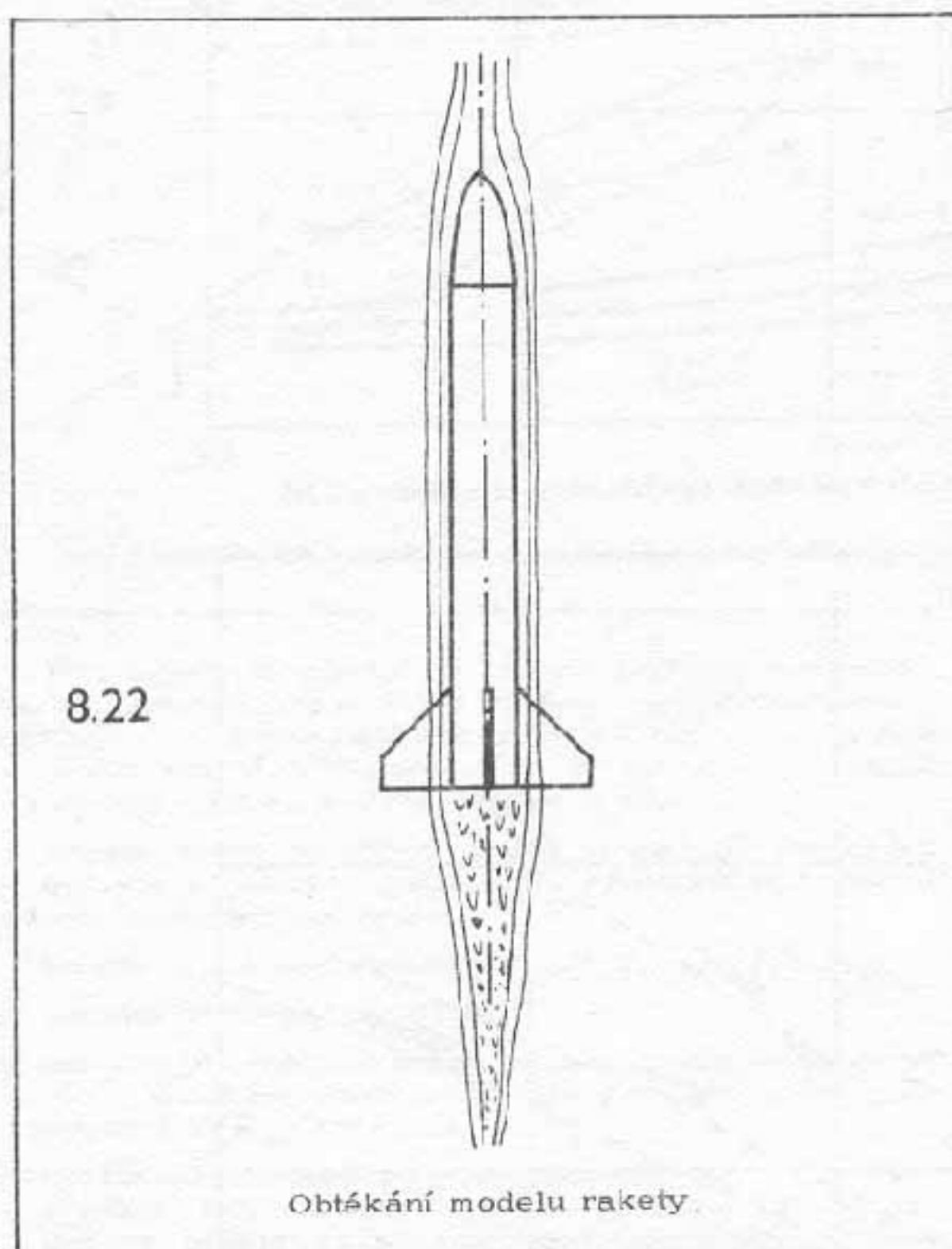
$S_W$  = celková povrchová plocha hlavičky a trupu rakety

$S_{TR}$  = čelní průřez trupu rakety

(Viz obr. č. 8.21 na předcházející straně.)

### 8.3.3. Odpor ocasní části rakety

Odpor ocasní části rakety vzniká jediné v důsledku nízkého tlaku v zadní části rakety způsobeného odtrháváním proudů vzduchu.



Proudící vzduch obléká model rakety (viz proudnice) a zasahuje ocasní část rakety, kde se pokouší o prudký zvrat za účelem sledování tvaru ocasní části. Viskozita vzduchu však nedovoluje náhlé změny proudnic. Proud vzduchu se odděluje od povrchu a vytváří tak částečné vakuum v ocasní části rakety. Tato oblast nízkého tlaku v ocasní části rakety vytváří tlakovou nerovnováhu a způsobuje zvýšení odporu ocasní části.

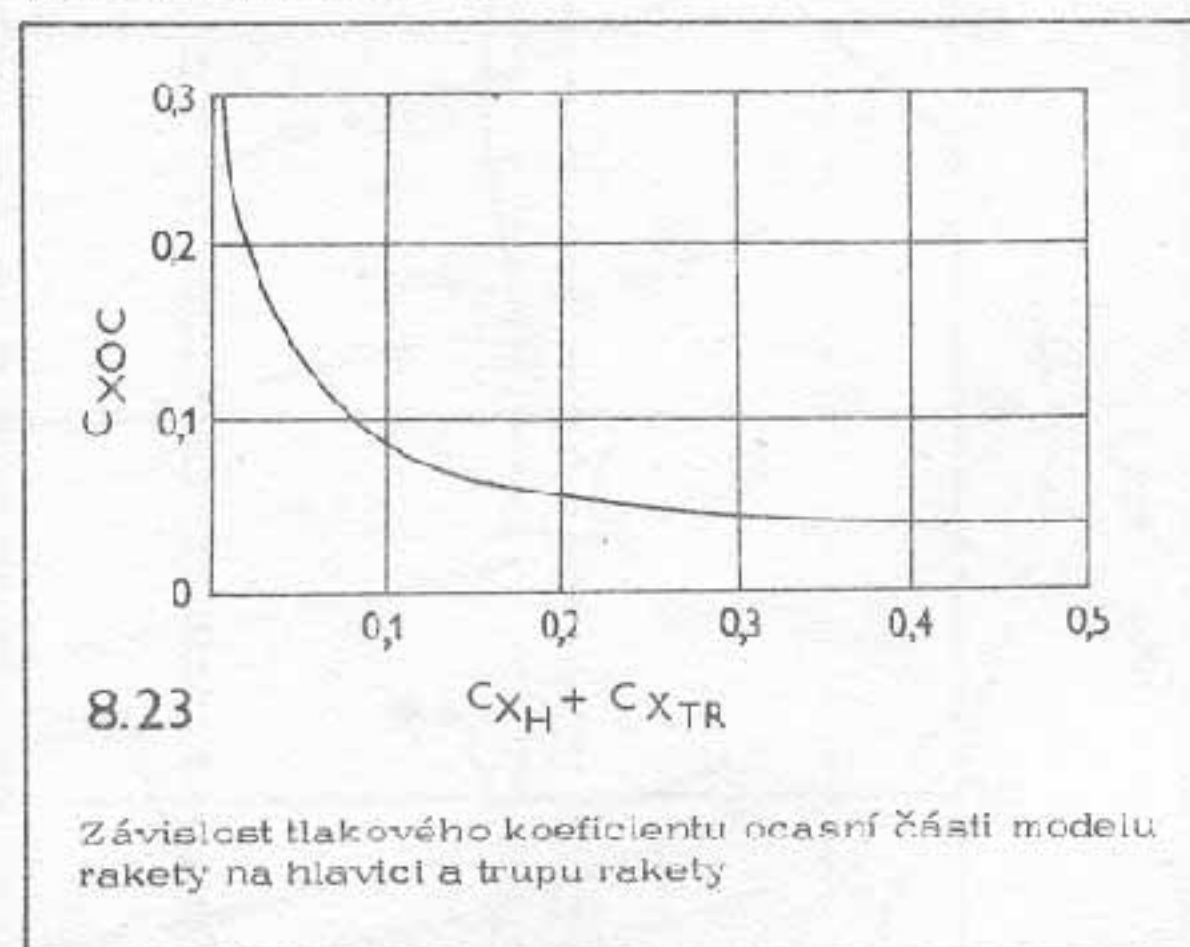
Jak zjistíme hodnotu tohoto odporu? Je to velký problém i při konstrukci skutečných raket.

Je možné usuzovat, že charakter mezní vrstvy má něco společného se skutečnou hodnotou odporu ocasní části vzhledem k tomu, že viskozita způsobuje oddělování proudů vzduchu.

Koeficient odporu ocasní části  $C_{XOC}$  se může vypočítat:

$$C_{XOC} = \frac{0,029}{C_{XH} + C_{XTR}} \quad (12)$$

Jestliže využijeme rovnici (12), dostaneme křivku znázorněnou na obr. č. 8.23.



Z obrázku č. 8.23 lze usoudit, že zvětšuje-li se koeficient odporu hlavičky a koeficient odporu trupu rakety, hodnota koeficientu odporu ocasní části se snižuje. Je to přirozené, neboť velké hodnoty koeficientů odporu hlavičky a trupu rakety jsou způsobené vysokými Reynoldsovými čísly a turbulentní mezní vrstvou.

Z toho vyplývá, že bude výhodnější, když v ocasní části bude turbulentní mezní vrstva i když se na modelu uměle vytvoří. Praktické pokusy plně tuto teorii potvrzují a dosahují se lepší výsledky.

### 8.3.4. Odpor modelu rakety při nulovém náběhu

Na základě uvedeného obrázku č. 8.24 lze vytvořit následující závěry:

- v případě laminární mezní vrstvy zjistíme, že koeficient odporu ocasní části má větší hodnotu než 50% z odporu modelu rakety;
- koeficient odporu ocasní části v případě laminární mezní vrstvy je prakticky konstantní, kolísající od hodnoty 0,180 po 0,193 když poměr  $L/d$  se mění od 4 do 20;
- naopak v případě turbulentní mezní vrstvy vidíme, že menší část z koeficientu odporu ocasní části pochází z přírůstků k odporu v ocasní části rakety a celkový koeficient odporu vzrůstá téměř rovnoměrně z 0,185 při  $L/d = 4$  na 0,4 při  $L/d = 20$ .

Tyto nejdůležitější závěry pozorování jsou výbornou pomůckou při zpracování návrhu modelu rakety. Jestliže může náš model udržovat po celé délce laminární mezní vrstvu, je nutné potom hledat snížení celkového odporu modelu rakety v konstrukčním řešení ocasní části.

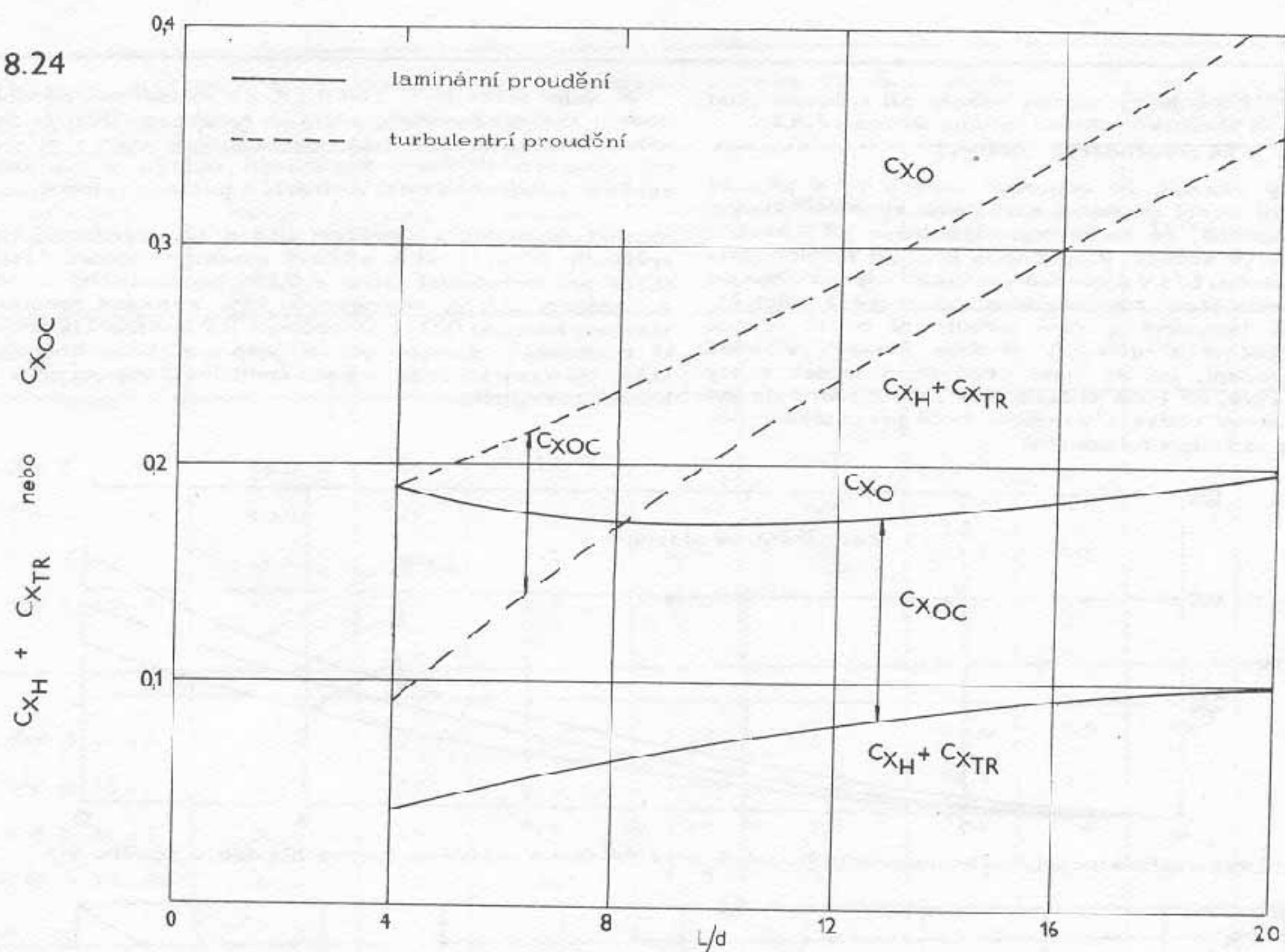
Zúžení ocasní části rakety je efektivní metodou pro snížení odporu ocasní části.

Délka modelu rakety nemá nic společného s laminární mezní vrstvou, protože koeficient odporu se délkou nemění. Toto však neplatí pro případ turbulentní mezní vrstvy, protože zde naopak koeficient odporu s délkou narůstá.

Když je vrstva úplně turbulentní, mají krátké modely menší odpor. Je nutné dávat pozor, protože zkrácením délky rakety můžeme způsobit nestabilitu a tím prudké nárůstání odporu.

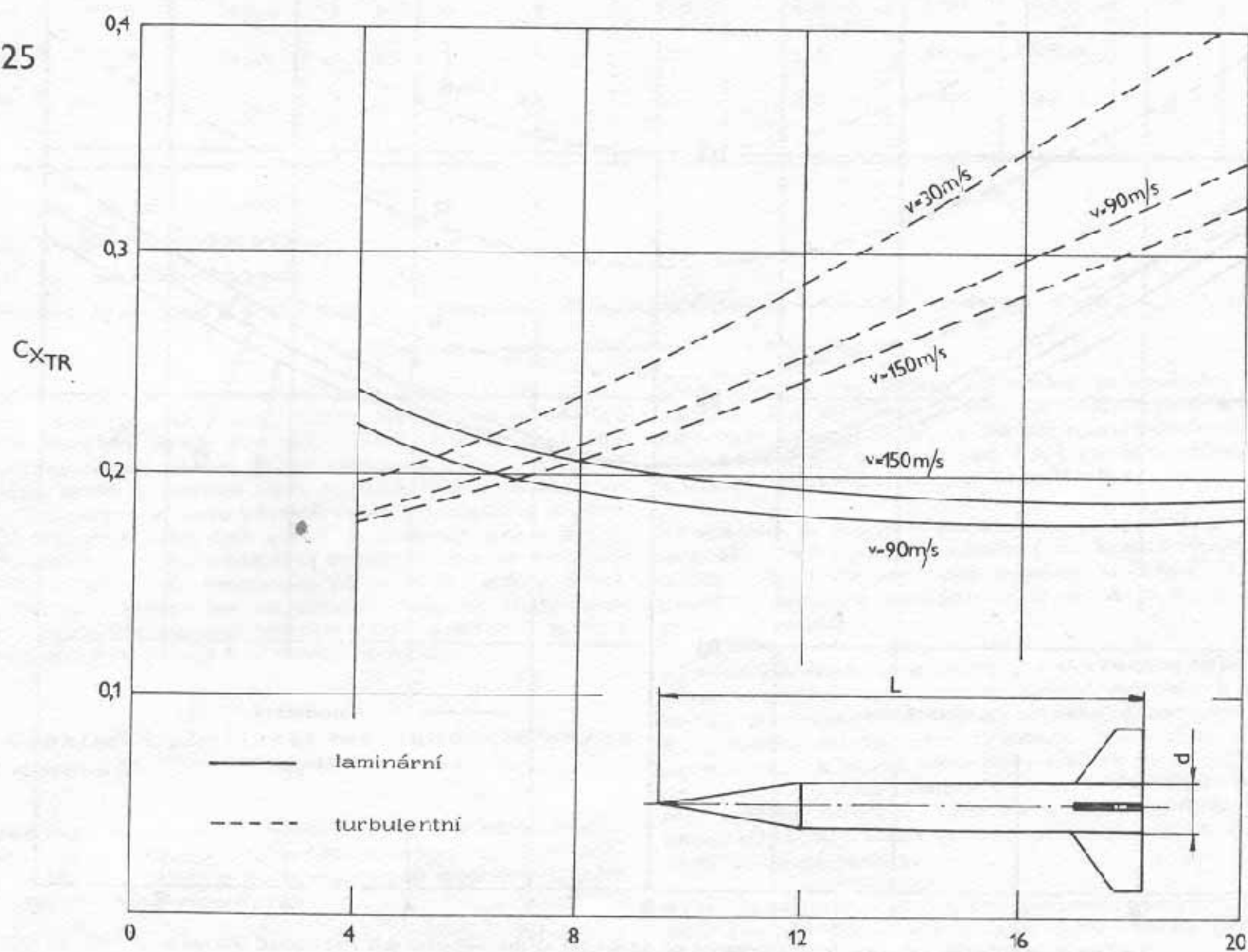


8.24



Závislost koeficientů odporu rakety při  $v = 30 \text{ m/s}$  pro různé  $L/d$

8.25



Koeficient odporu trupu rakety při nulovém úhlu náběhu ( $d = 25 \text{ mm}$ )



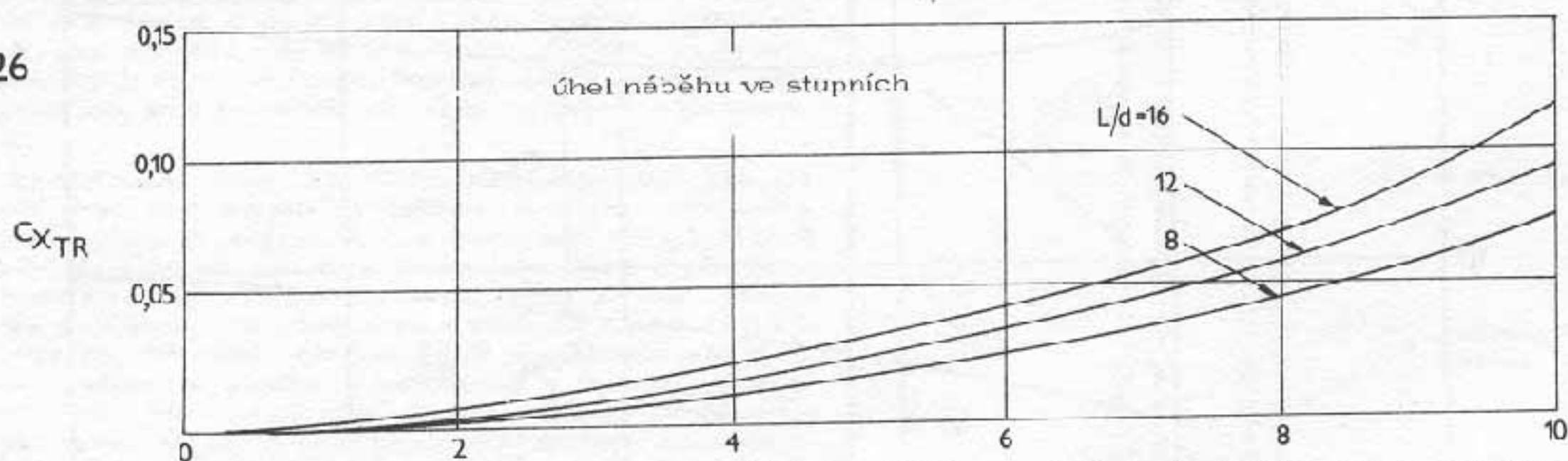
Změny koeficientů odporu rakety při nulovém úhlu náběhu pro tři různé rychlosti jsou na obrázku č. 8.25. (Obrázek je na předcházející straně.)

Křivky ukazují, že odporové koeficienty v případě turbulentní mezní vrstvy s narůstající rychlostí klesají (to neznamena, že klesá odpor), zatímco při laminární mezní vrstvě dochází k opačnému jevu při nižších hodnotách poměru  $L/d$  v důsledku vysokého odporu v ocasní části. Opět jsou zde uvedené odporové koeficienty pro plně laminární a plně turbulentní mezní vrstvu. Tento proces je důležitý, protože vznikají těžkosti při předvídání, jak se bude navrhovaný model rakety chovat. Víme, že bude vhodné, aby na začátku byla laminární mezní vrstva a v určitém bodě při obtékání povrchu se změnila v turbulentní.

Je velmi těžké tento bod určit. Ze zkušenosti měření modelu rakety v aerodynamickém tunelu vyplývá, že je velmi vhodné, aby přechod mezi laminární mezní vrstvou byl dosažen výběrem koeficientů odporu v hodnotě asi 75% vzdálenosti mezi laminární a turbulentní křivkou.

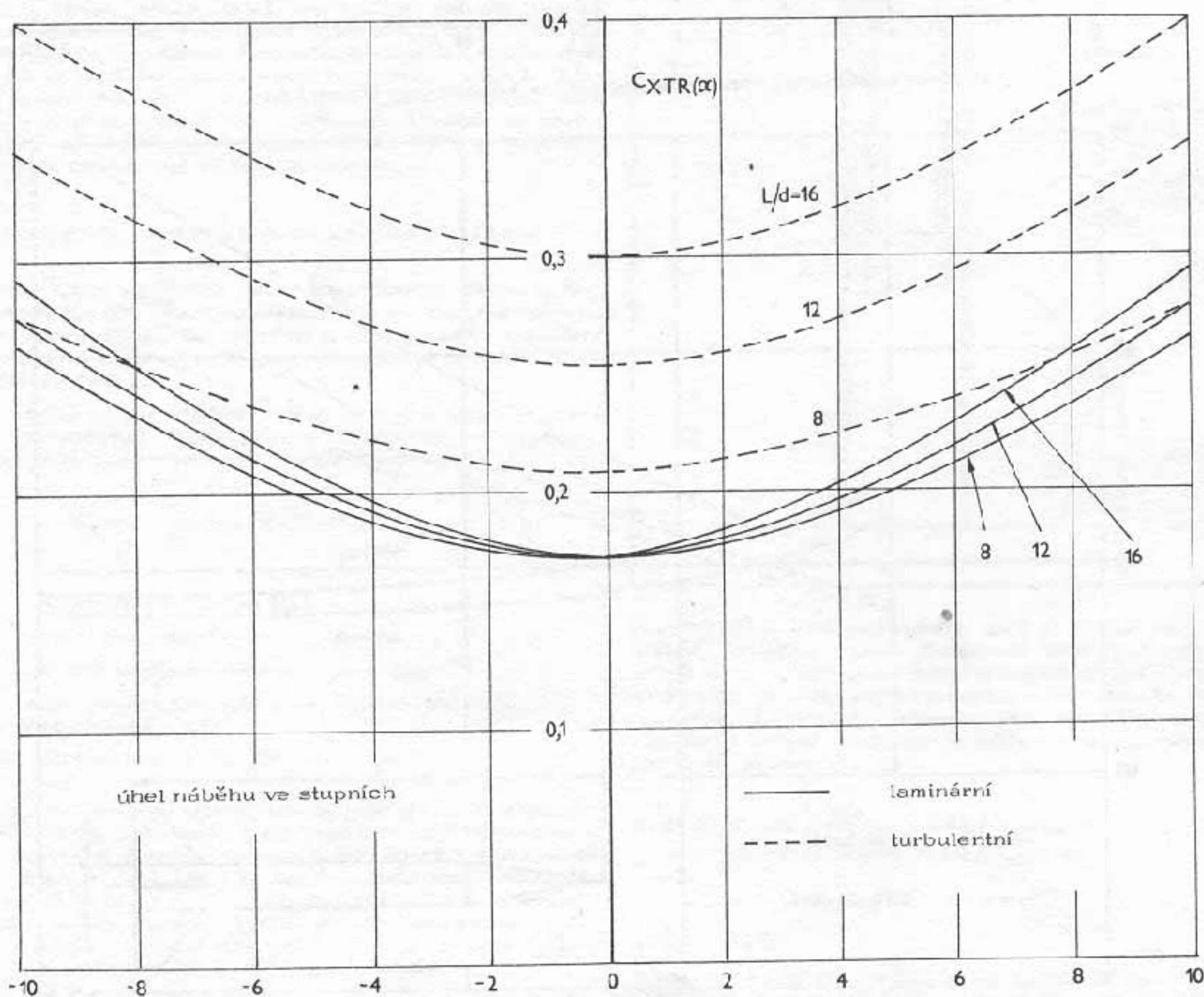
Například: model s poměrem  $L/d = 12$ , pohybující se rychlostí 90 m/s, má koeficient odporu v ocasní části 0,255 pro turbulentní proud a 0,182 pro laminární proud s rozdílem 0,073. Vezmeme-li 75% z tohoto rozdílu, získáme hodnotu 0,055. Připočteme ji k laminární hodnotě koeficientů odporu v ocasní části a získáme hodnotu 0,237 jako nejrychlejší hodnotu koeficientů odporu při nulovém úhlu náběhu.

8.26



Přírůstek koeficientu odporu trupu rakety při změně úhlu náběhu s ogiválním tvarem hlavičky v poměru 3:1

8.27



Změna koeficientu odporu trupu rakety se změnou úhlu náběhu při rychlosti 90 m/s



### 8.3.5. Odpor modelu rakety při úhlu náběhu

Teoretická analýza proudění kolem modelu rakety při určitém úhlu náběhu vzhledem k relativnímu větru je velmi obtížná. Vzhledem k tomu, že modely raket skutečně létají pod určitým úhlem náběhu, je zajímavé zjistit, jaké budou ztráty na požadovaném výkonu apod. Výsledky měření a praktických zkoušek modelu s ogiválním tvarem hlavičky v poměru 3:1 jsou na obr. č. 8.26.

Tento graf nám umožňuje rychlý výpočet odporového koeficientu při úhlu náběhu až do  $10^\circ$  pro 3 poměry  $L/d$ .

Typické řešení jak pro laminární, tak i pro turbulentní vrstvu je na obrázku č. 8.27. Ukazuje nám, jak může úhel náběhu působit na zvětšení odporu modelu rakety. Při výpočtu je nutné dbát na výpočet odporového koeficientu při nulovém úhlu náběhu z uvedeného grafu.

### 8.3.6. Odpor stabilizátorů modelu rakety

Tvar stabilizátoru sehrává nejdůležitější roli při stanovení velikosti odporu. Tvary stabilizátorů jsou na obr. č. 7.6. a 7.7. Pro naše výpočty a zdůvodnění počítáme s těmi nejzákladnějšími na obrázku č. 8.28.

K tomu, abychom mohli blíže formulovat charakteristiku jednotlivých tvarů, je nutné zavést následující terminologii:

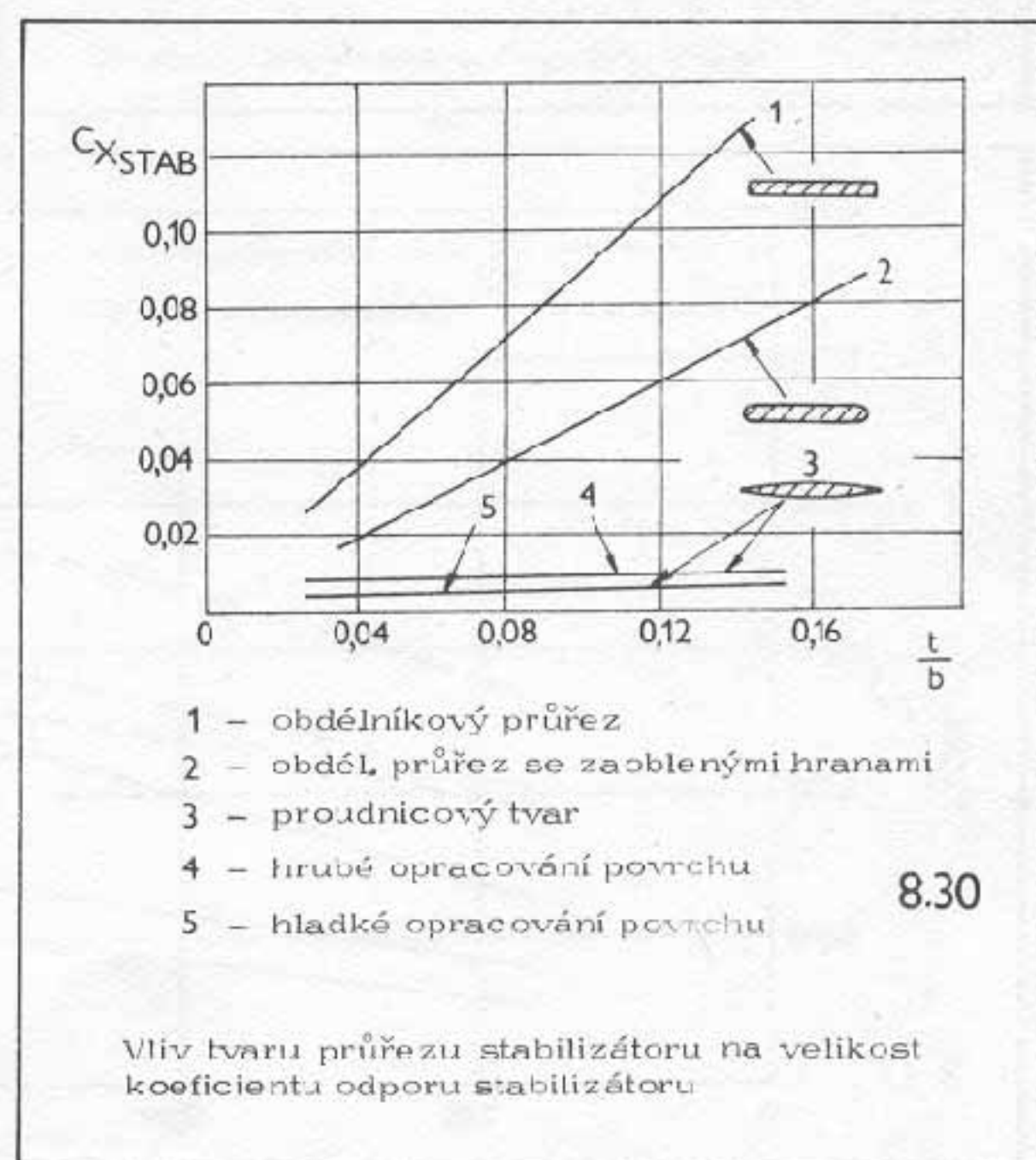
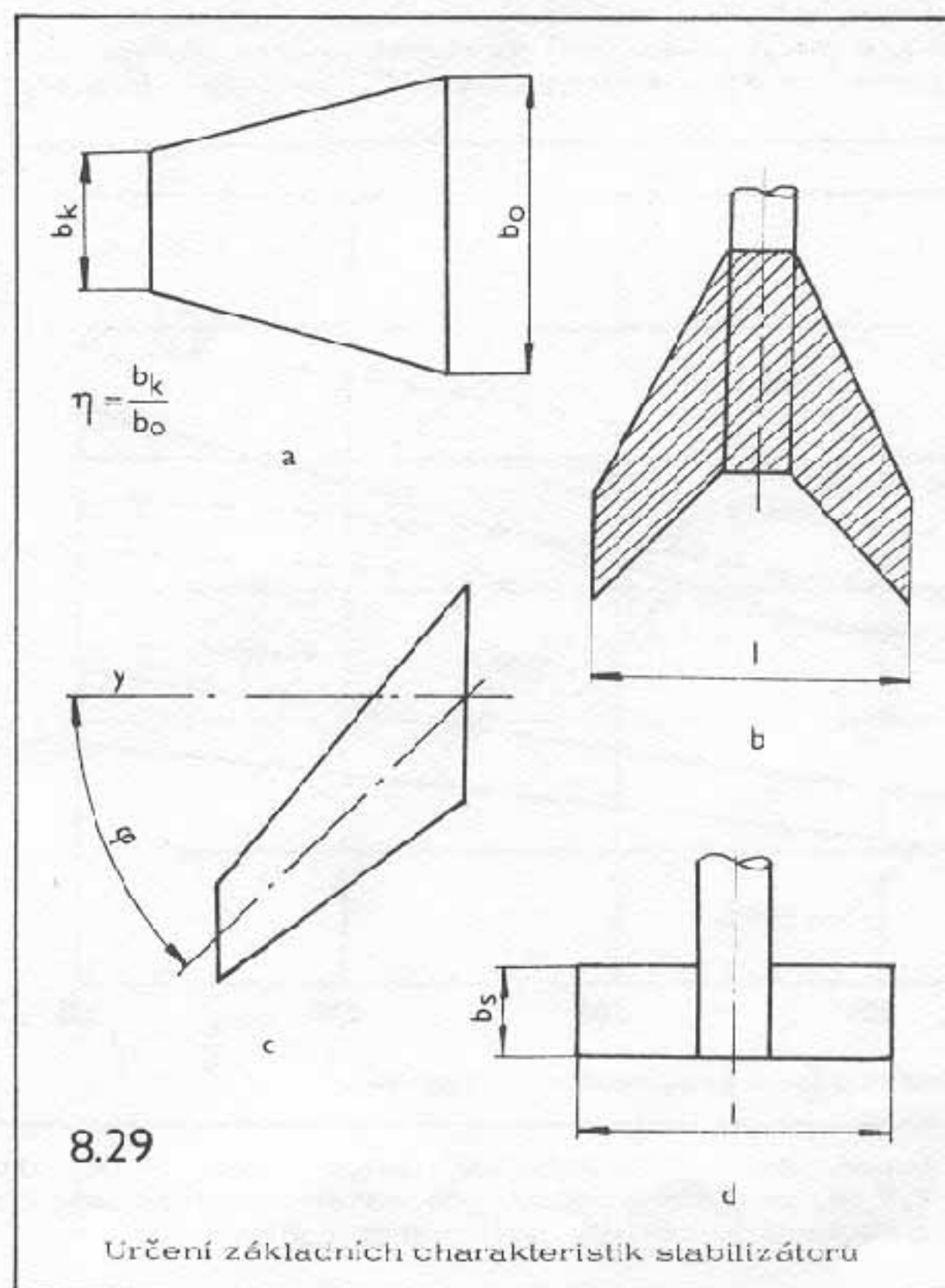
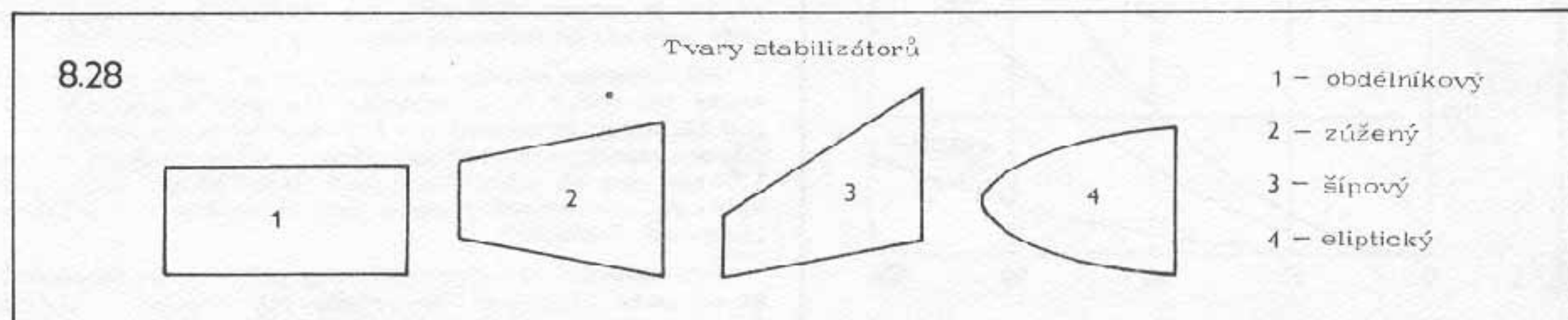
- rozpětí stabilizátorů  $L$
- zúžení stabilizátorů  $\eta = \frac{b_k}{b_o}$  koncová hloubka stabilizátoru  
kořenová hloubka stabilizátoru
- plocha stabilizátoru  $S$  (průřez v rovině  $X, Y$ )
- střední geometrická hloubka  $b_S = \frac{S}{L}$
- štíhlost stabilizátoru  $\lambda = \frac{L}{b_S} = \frac{L}{S}$

Na štíhlosti výrazně závisí aerodynamické charakteristiky:

- šípovitost stabilizátoru  $\varphi$  je charakterizována úhlem mezi osou  $Y$  a osou úhlu, který svírá náběžná a odtoková hrana;
- tloušťka profilu  $d$  - jde o průměr kružnice, která se dá vepsat do profilu.

(Obr. č. 8.29)

Tvar stabilizátoru není jediným faktorem, který určuje jeho odpor. Svůj podíl na odporu má tvar průřezu. Tři typické průřezy stabilizátorů raketových modelů jsou na obr. č. 8.30. (Při měření v aerodynamickém tunelu



měla použít balsa po úplné povrchové úpravě tloušťku 1,55 mm.)

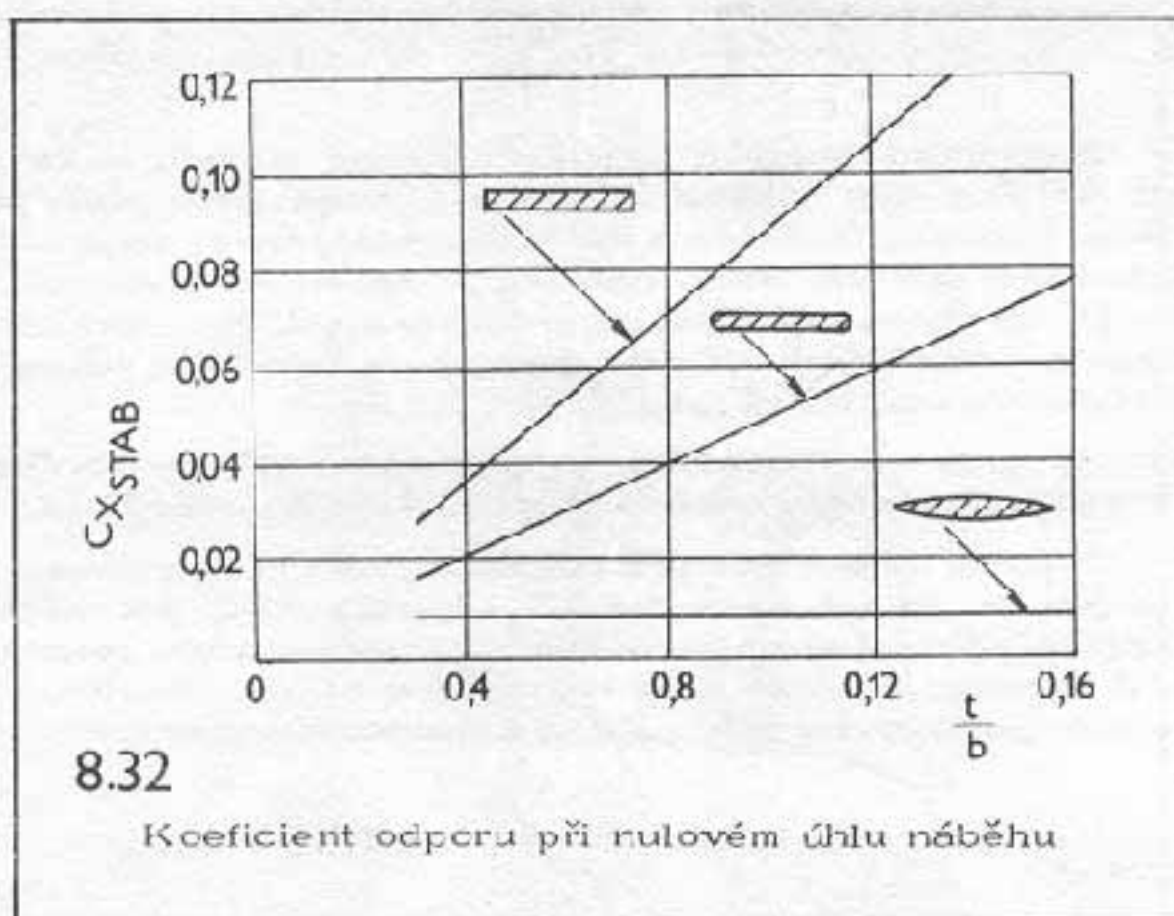
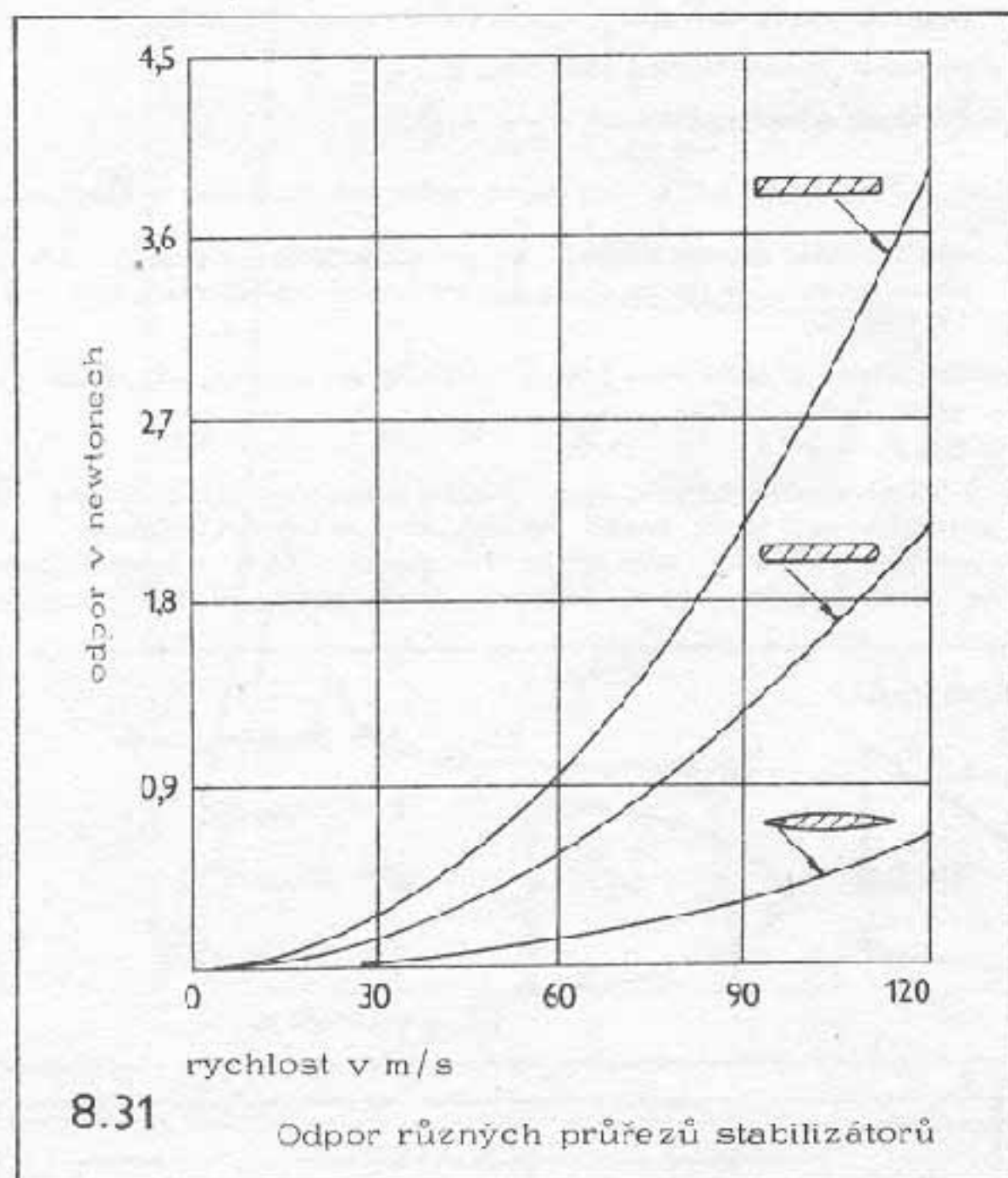
poměr  $\frac{t}{b} = 0,013125$   $t$  = tloušťka stabilizátoru  
 $b$  = délka tělivity stabilizátoru

Stabilizátory u modelu raket málokdy převyšují poměr  $= 0,1$ . Z výše uvedeného vyplývá, že chceme-li určit



odpor stabilizátoru, je nutné přezkoušet tvar a průřez profilu. Další pomůckou při volbě vhodného stabilizátoru je graf na obr. č. 8.31, který můžeme vhodně použít v praxi.

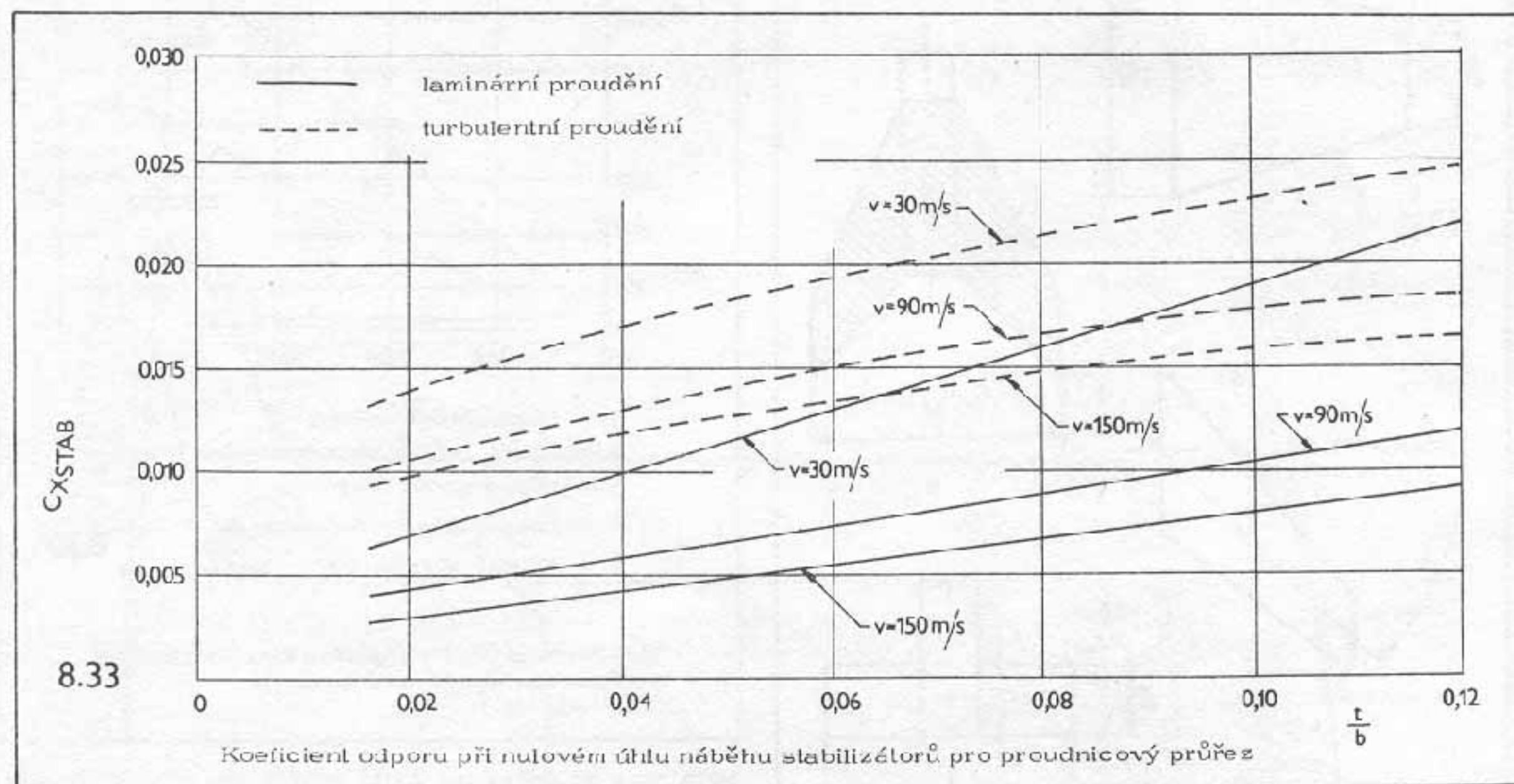
Je samozřejmé, že změníme-li velikost stabilizátoru, bude se měnit i odpor. Bude tedy o mnoho výhodnější, když se při výpočtu odporu stabilizátoru použijí odporové koeficienty.



kové hrany, zredukuje se odporové koeficienty a tlakový odpor bude méně důležitý. V případě, že bude tloušťka profilu velmi slabá, třecí odpor zůstane. U souměrných profilů je odpor způsoben jen plášťovým třením. Odpor tedy opět závisí na mezní vrstvě a Reynoldsově číslu.

Při vlastním návrhu stabilizátoru je nutné plně využít grafu na obr. č. 8.31. Rovněž lze použít graf na obr. č. 8.32, který je výsledkem aplikace výpočtu koeficientu odporu stabilizátoru pro souměrný profil o tloušťce profilu 1,56 mm pro tři letové rychlosti. Rozhodující úlohu zde sehrává povrchová úprava profilu stabilizátoru (bude laminární obtékání).

Při nulovém úhlu náběhu mají průřez stabilizátorů, které jsme doposud sledovali, nulový úhel náběhu. Jestliže dojde při letu rakety ke změně úhlu náběhu (např. nárazem vzduchu), vzniká aerodynamická síla, která vrací raketu zpět do nulového úhlu náběhu. (Podrobně se o tom dočteme ve statí 7.) Vzniká tím dodatečný

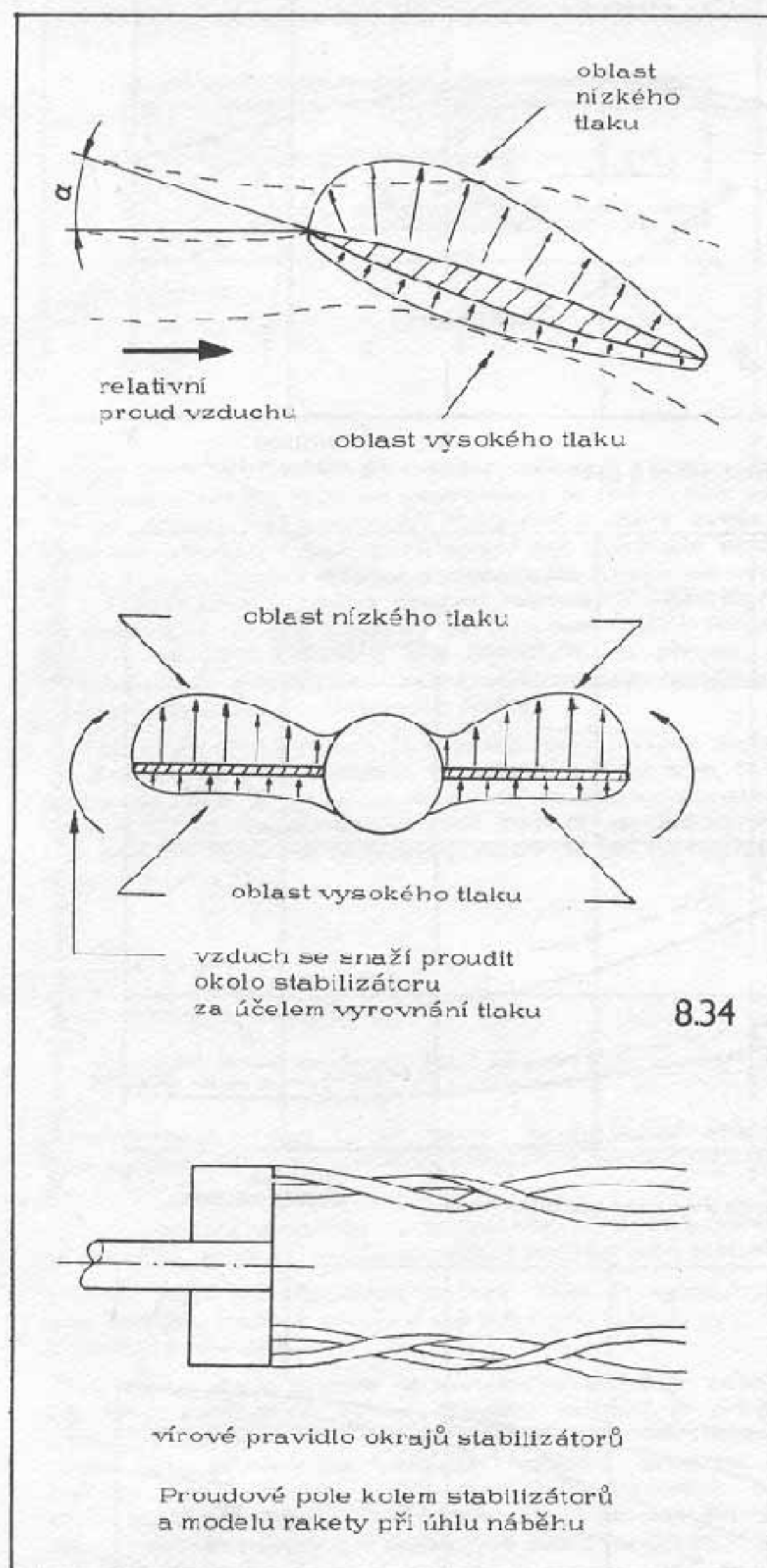


Je nutné si uvědomit, že stabilizátory s plochou náběžnou a odtokovou ostrou hranou způsobují velký tlakový odpor. Zaoblením náběžných a odtokových hran se tlakový odpor snižuje.

Jestliže zhotovíme dokonalou úpravu náběžné a odtok-

odpor, který silně ovlivňuje dostup rakety. Z obrázku č. 8.34, si lze vyvodit vlastní závěry, protože zde jde o elementární základy indukovaného odporu.

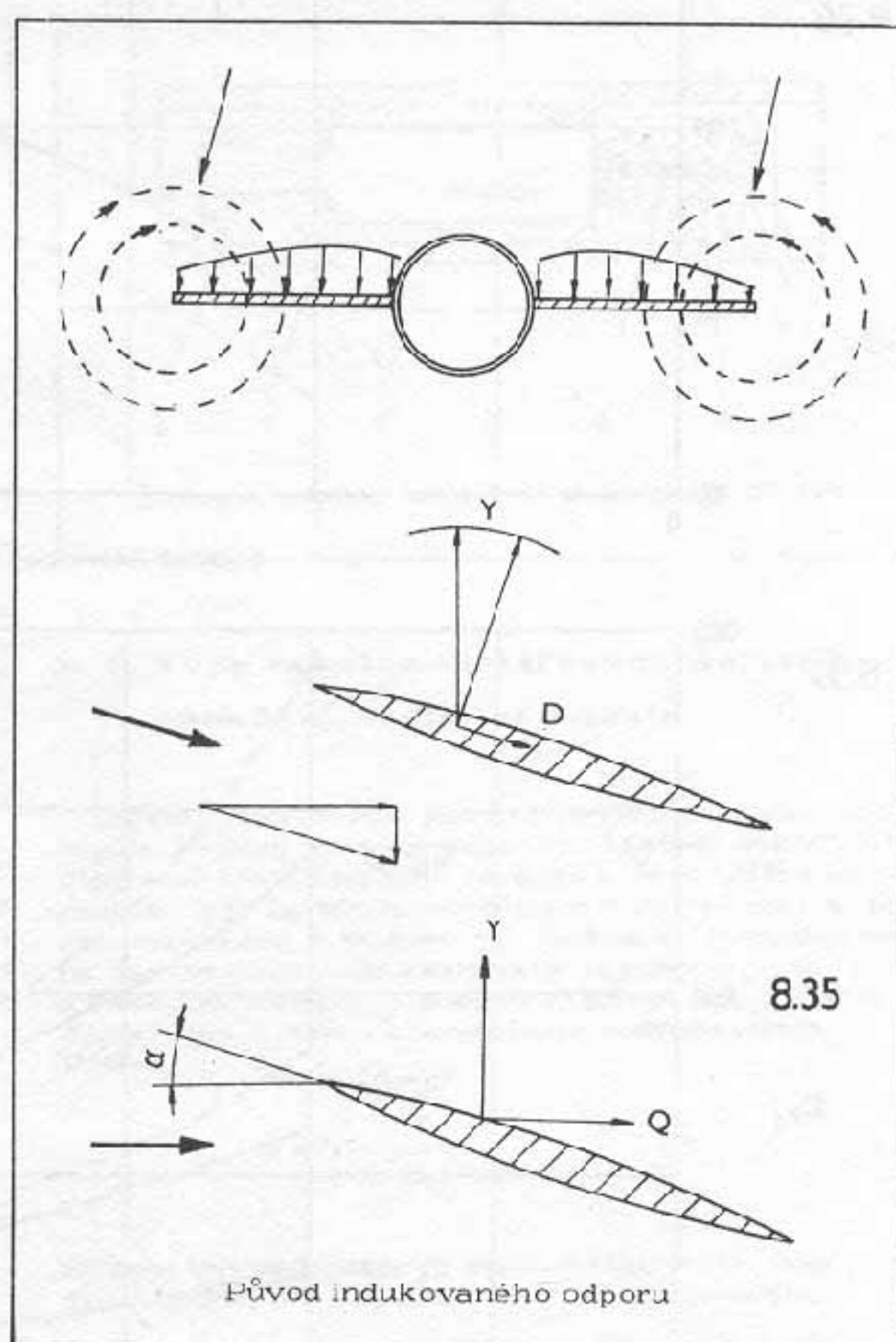




8.34

K problematice stabilizátorů si shrneme několik poznatků:

- při rychlosti nižší než rychlost zvuku se nejvíce osvědčily eliptické tvary stabilizátorů z tohoto důvodu, že tento tvar způsobuje nejmenší indukovaný odpor a i koeficient odporu  $C_{X_{ST}}$  je nejnižší;
- čím větší je hodnota štíhlosti stabilizátoru, tím nižší je hodnota koeficientů odporu  $C_{X_{ST}}$  při rovnosti všech ostatních faktorů;
- dlouhé úzké stabilizátory vytvářejí nižší indukovaný odpor než krátké a široké;
- šípovitě tvarované stabilizátory při obtékání podzvukovou rychlostí vedou k vyšším hodnotám indukovaného odporu než u přímých stabilizátorů. Vícestupňové modely raket opatřené výkonnými motory dosahují posledním stupněm nadzvukové rychlosti a šípovité tvarování je nutné;



8.35

- je nutné znát též koeficient aerodynamické síly. Aerodynamická síla je způsobena úhlem náběhu stabilizátoru v důsledku nárazu větru nebo jiného destabilizujícího vlivu. Jaký stabilizátor dává největší aerodynamickou sílu při nejmenším úhlu? Jde opět o eliptický tvar, který má nejlepší vlastnosti. Následuje pak obdélníkový a šípovitý tvar stabilizátorů;
- je nutné se vyhnout příliš vysokým hodnotám štíhlosti stabilizátorů, protože z pevnostního důvodu dochází při letu modelu rakety k jejich poškození. Návrh stabilizátoru musí být určitým kompromisem mezi aerodynamickou účinností a pevností;
- další teoretické závěry si mohou modeláři odvodit sami po důkladném studiu následujících obrázků a pak plně uplatnit při vlastním návrhu stabilizátoru.

(K této stati přísluší ještě grafy, které jsou na obr. č. 8.36, 8.37, 8.38, 8.39 a 8.40. Viz následující strany.)

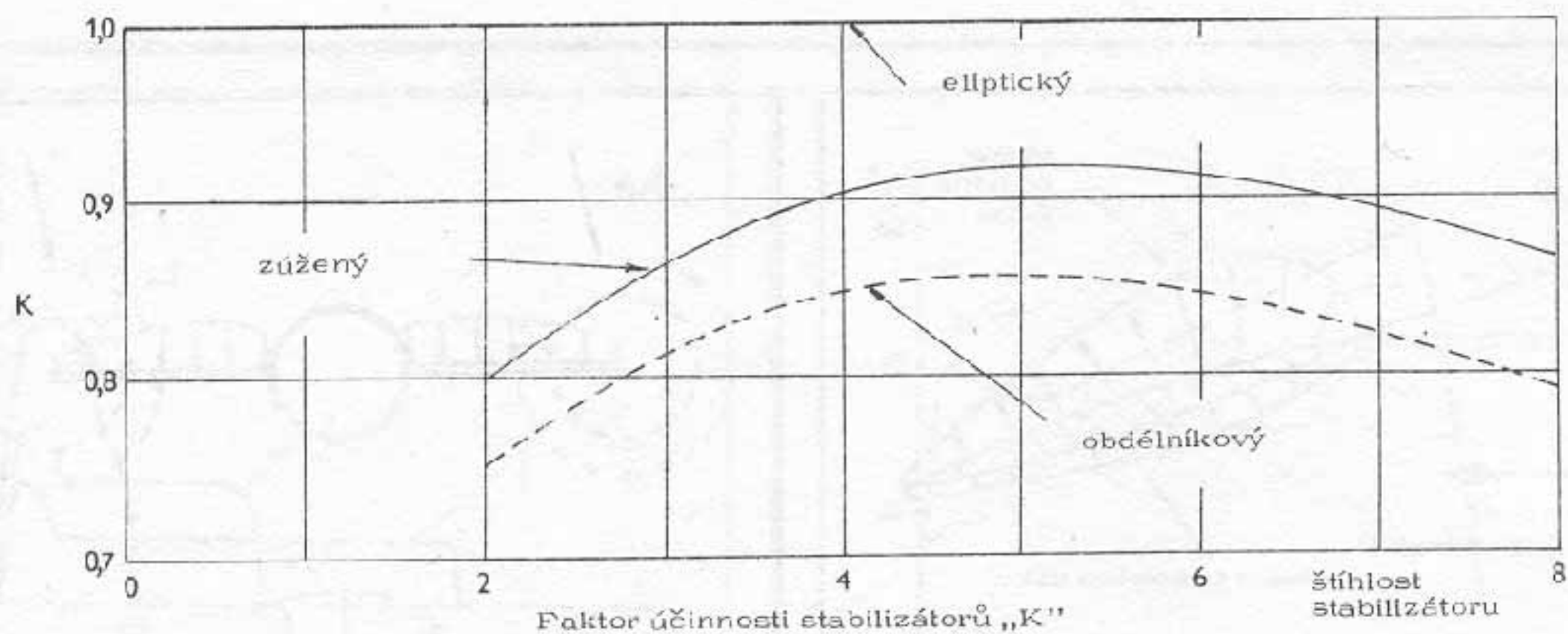
### 8.3.7. Odpor startovacího vodítka

Startovací vodítko patří rovněž mezi části, které způsobují odpor. Doposud se této oblasti nevěnovalo příliš mnoho pozornosti z toho důvodu, že si jsou modeláři vědomi toho, že vodítko způsobuje nejen odpor, ale vytváří i aerodynamickou sílu. Volí proto starty modelů raket pomocí dotykové rampy, zvláště u soutěží výškových.

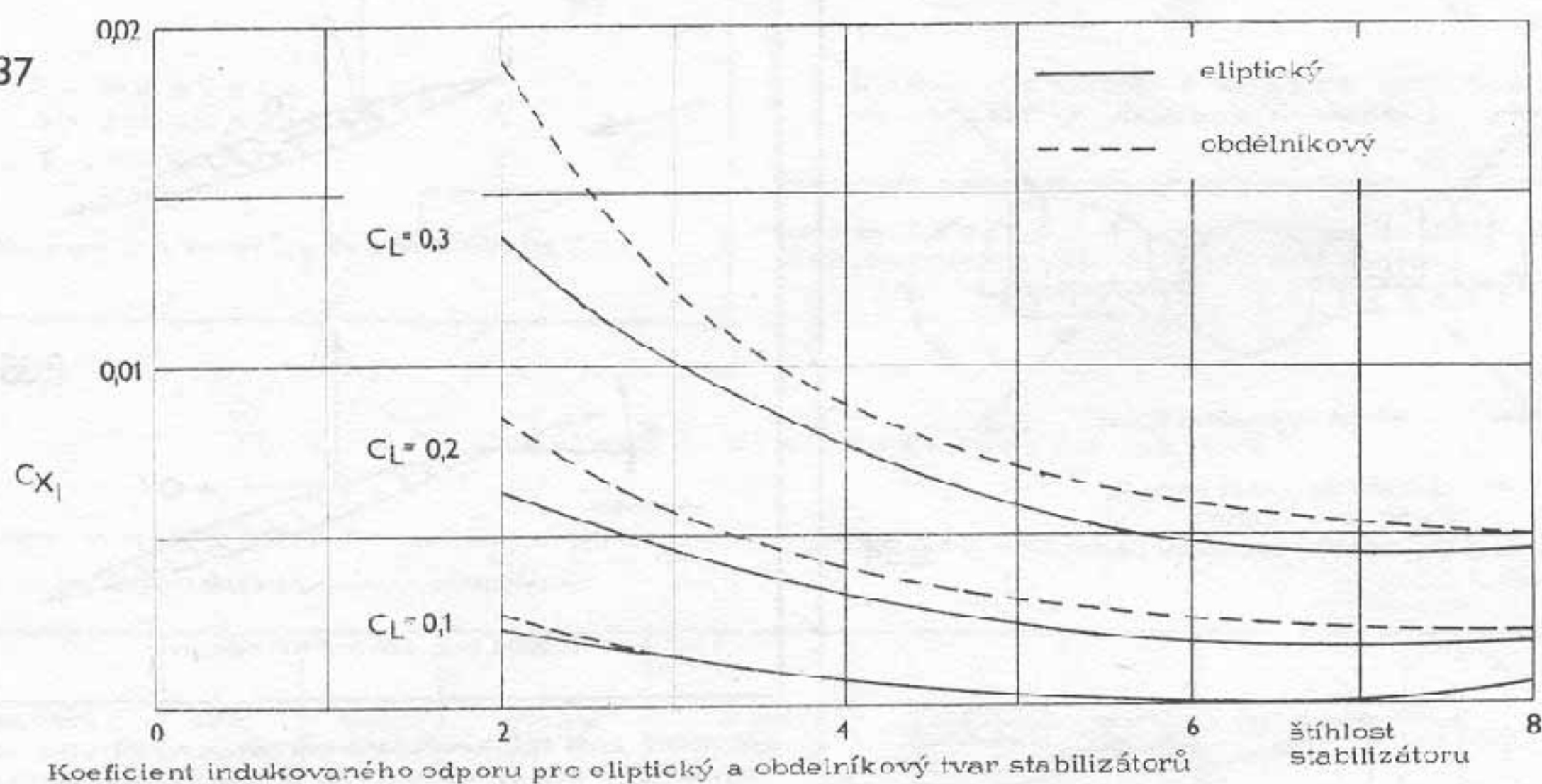
Jak probíhá proudění vzduchu v prostoru startovacího vodítka, vidíme na obr. č. 8.41.



8.36



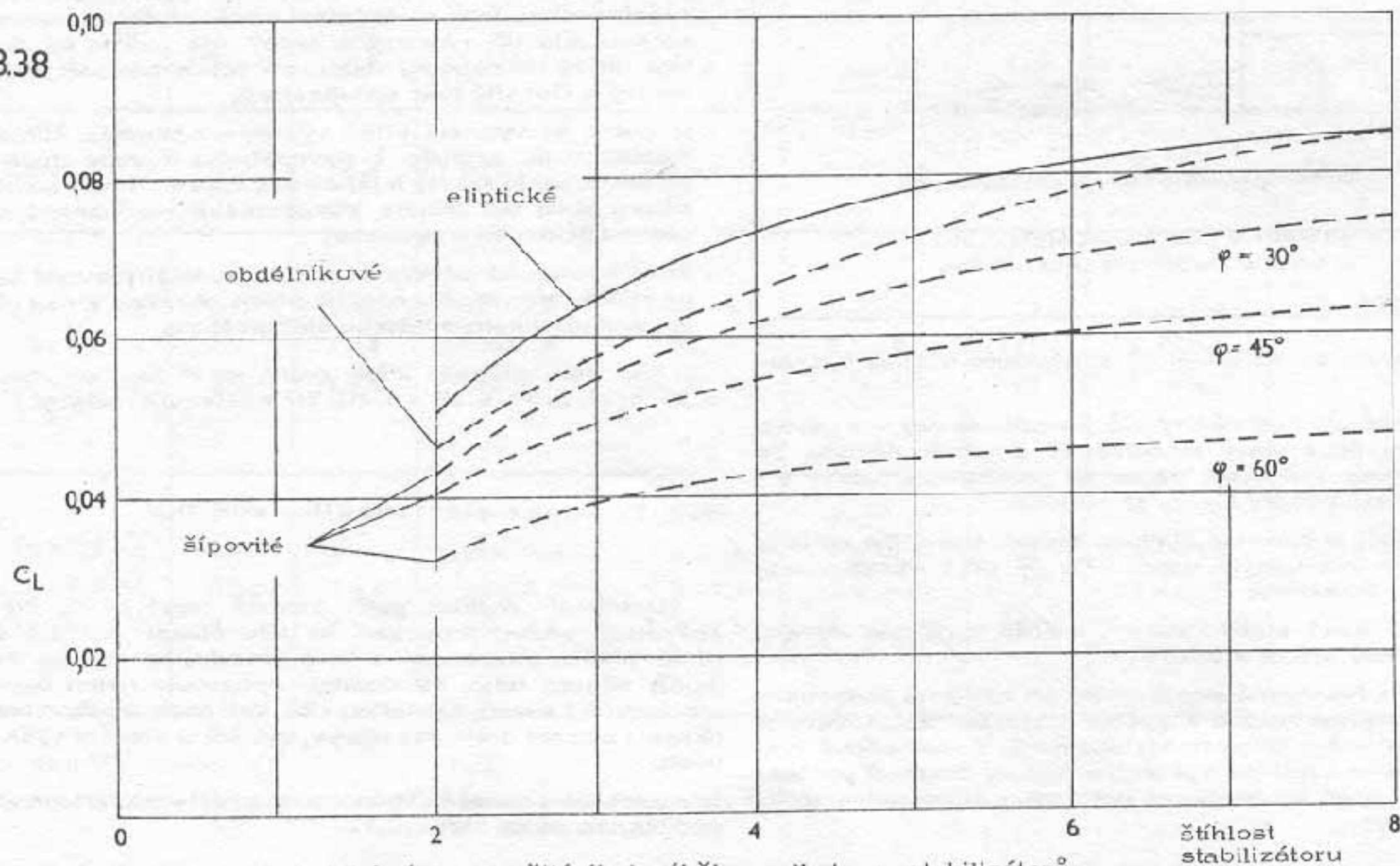
8.37



Koeficient indukovaného odporu pro eliptický a obdélníkový tvar stabilizátorů

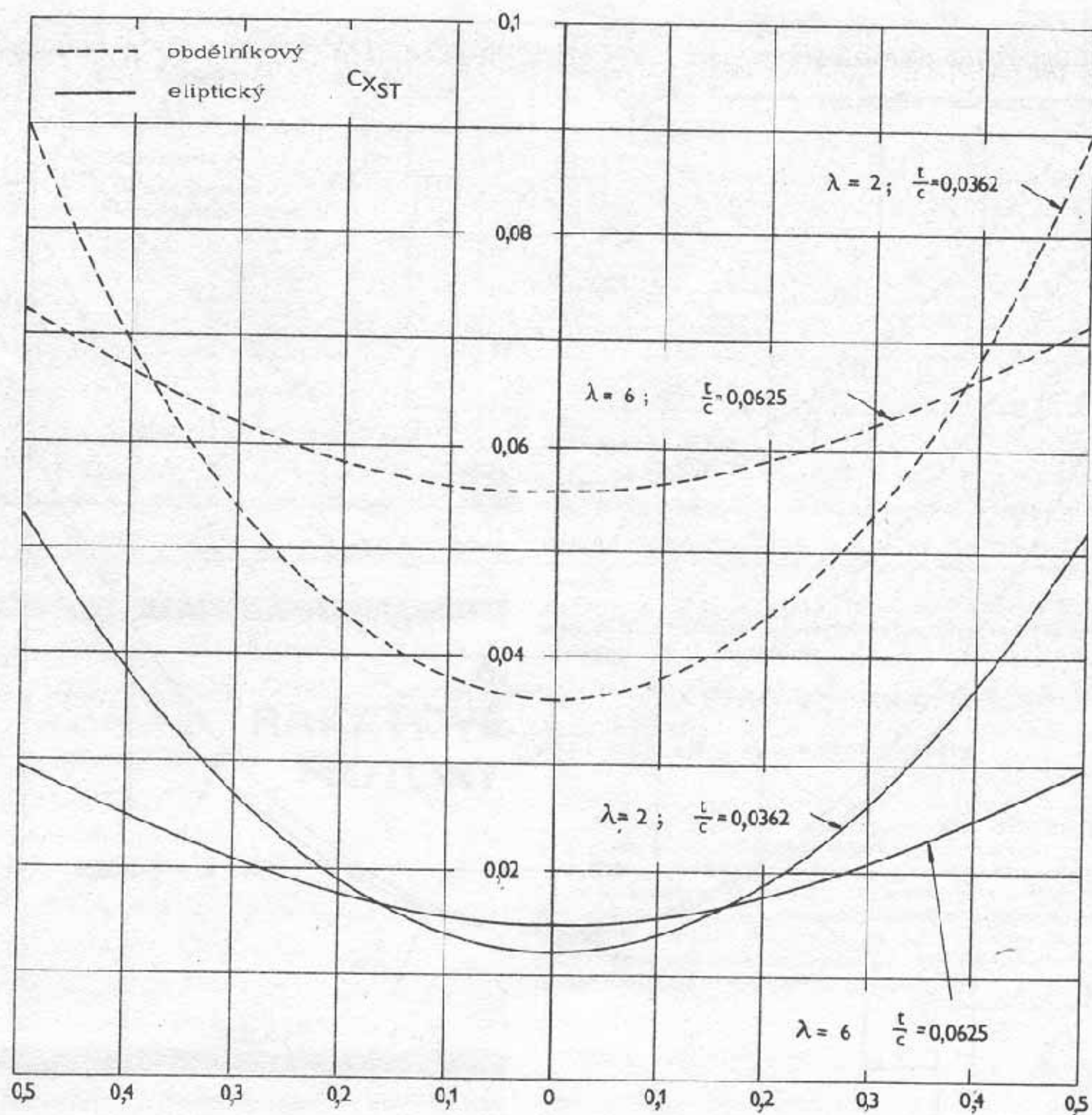
 $C_L$  = koeficient náběhu vytvořeného stabilizátory

8.38



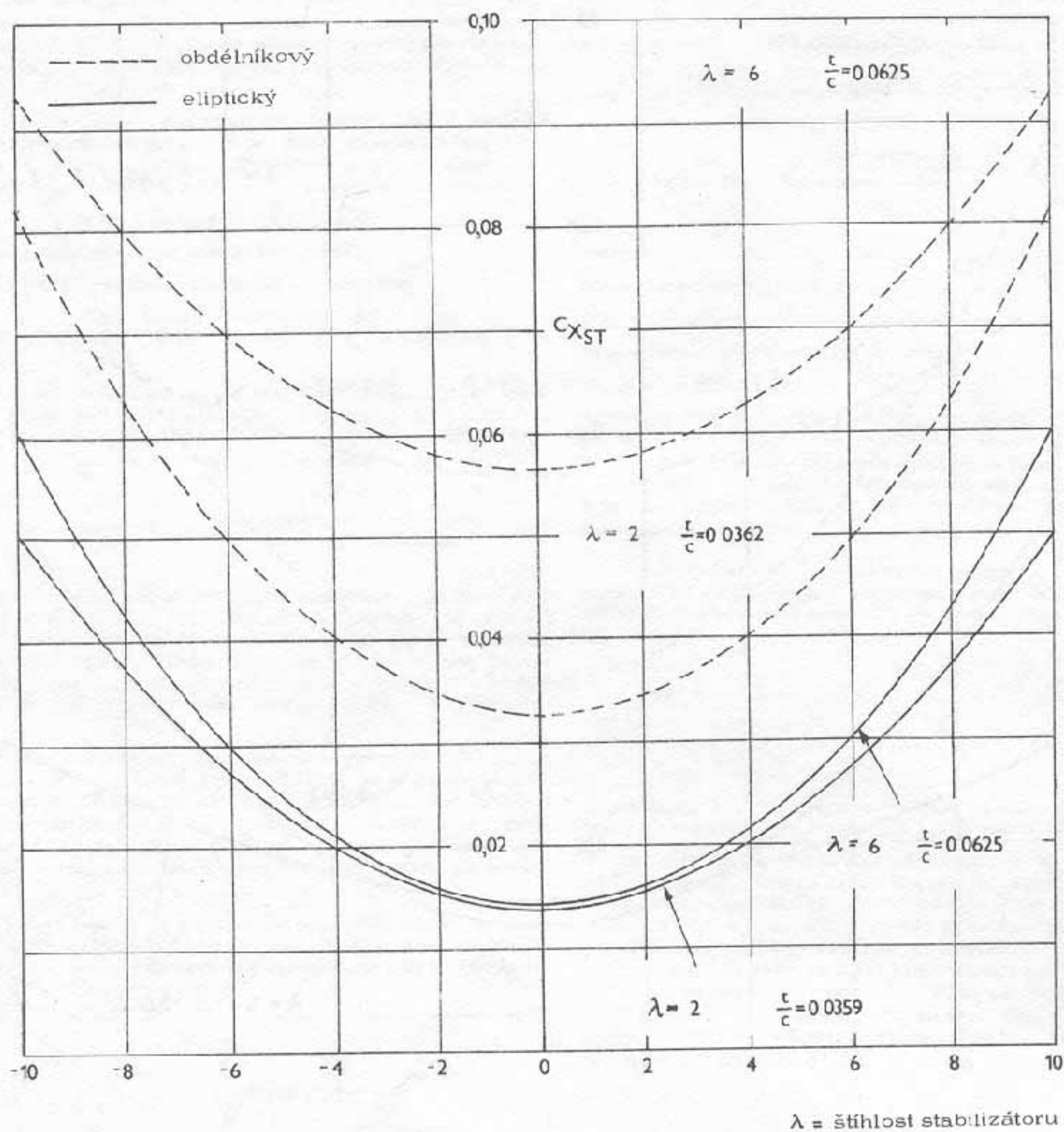
Koeficient aerodynamické síly pro určitý úhel náběhu podle tvaru stabilizátorů





Koeficient odporu změny eliptických a obdelníkových tvarů stabilizátorů  
s koeficientem aerodynamické síly

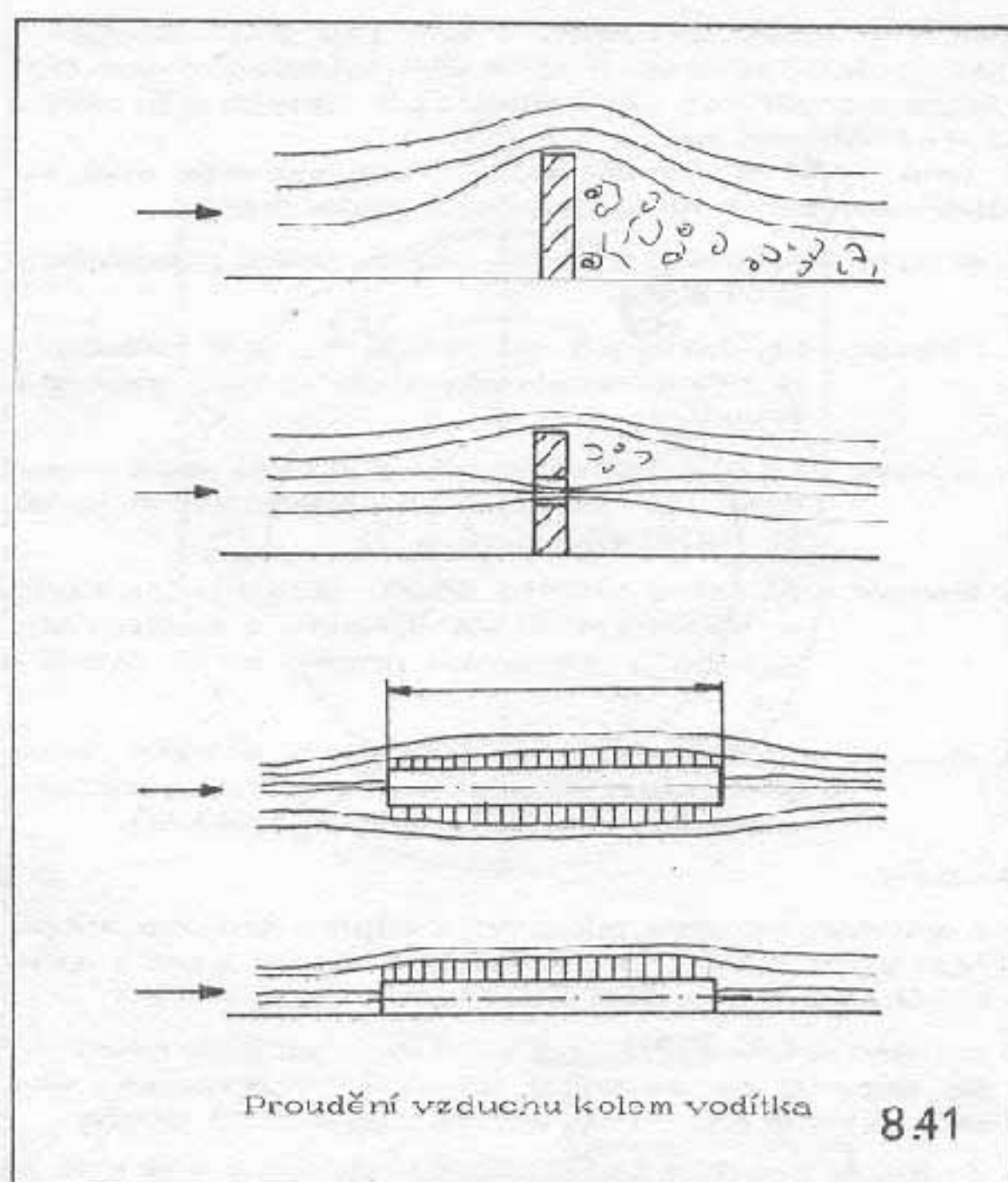




Odpor eliptických a obdélníkových tvarů stabilizátorů se změnou úhlu ráběhu

8.40





Na základě teoretických výpočtů a praktického měření v aerodynamickém tunelu byly výsledky shrnuty do grafu uvedeného na obr. č. 8.42.

Koeficient odporu startovacího vodítka leží vždy mezi dvěma hranicemi vyznačenými na obr. č. 8.42. Vodítka mají odpor nejen tlakový, ale i ve formě plášťového tření (vnitřní i vnější povrch).

Za pozornost však stojí, aby vodítka byla důsledně v ose rakety – obr. č. 5.21. Při vyšších rychlostech letu modelu rakety ovlivňuje vodítka i předpokládaný směr letu.

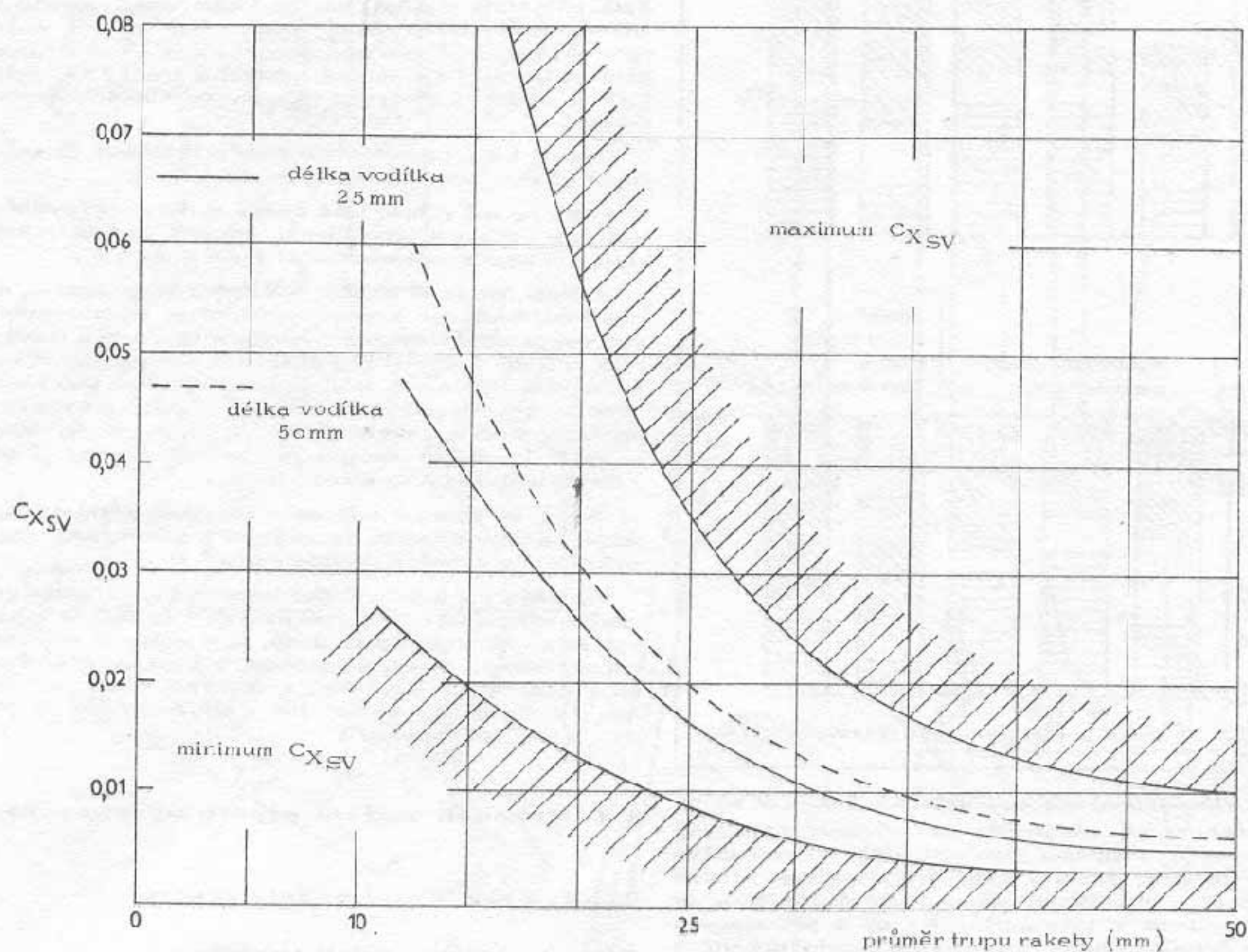
#### 8.3.8. Analýza odporu raketového modelu při nulovém úhlu náběhu

V úvodních statích o odporu jsme se snažili identifikovat odpor každého komponentu rakety v té nejvšeobecnější formě na základě měření v aerodynamickém tunelu, praktických zkoušek a dlouhodobých zkušeností v této oblasti.

Cílem toho je přijmout určité opatření, abychom mohli snížit odpor jakékoliv části rakety na nejnižší možnou hodnotu a dosáhnout s modelem maximálního výkonu.

K dalšímu prohloubení znalostí nám poslouží praktická analýza modelu rakety s následujícími hodnotami:

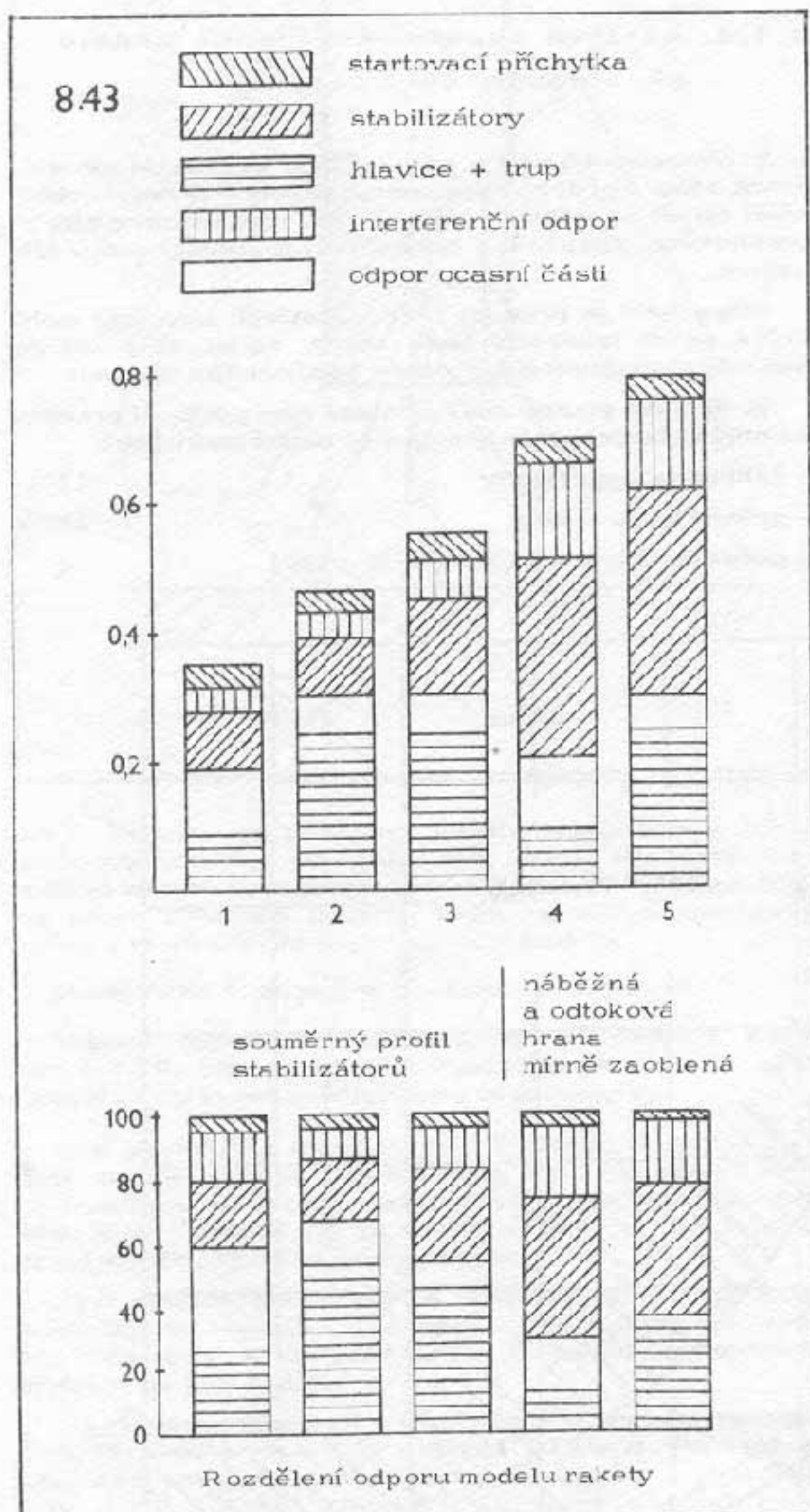
- štíhlost modelu rakety	12
- průměr trupu rakety	25 mm
- počet stabilizátorů (souměrný profil)	4



8.42



- štiřlost stabilizátorů	2
- letová rychlost modelu rakety	30 m/s
- koeficient odporu hlavice + koeficient odporu trupu	0,229
- koeficient odporu ocasní části	0,061
- koeficient odporu stabilizátorů	0,155
- koeficient odporu interferenční	0,0517
- koeficient odporu vodítka	0,030
<b>celkem koeficient odporu</b>	<b>0,5377</b>



Aby byla informace o podílu velikosti odporu každé části modelu rakety názornější, jsou výsledky naneseny do sloupčového diagramu. Horní skupina sloupčů udává odpor každé části rakety ve formě koeficientů za různých podmínek proudění. Spodní skupina udává přínos každé části na odpor v procentech. Každý z pěti sloupčů označuje rozdílný soubor podmínek nebo metod použitých při analýze modelu rakety.

**Příklad:**  
první sloupec znázorňuje koeficienty odporu pro plně

laminární oblast proudění. Přímě pod tímto sloupcem ukazuje další sloupec procentuální vyjádření celkového odporu jednotlivých částí modelu při nulovém úhlu náběhu pro koeficient odporu = 0,339.

Z toho vyplývá, že pět sloupčů reprezentuje analýzu odporu založenou na následujících podmínkách:

1. sloupec - na celém povrchu modelu rakety je laminární proudění;
2. sloupec - na hlavici a trupu modelu rakety je turbulentní proudění, ale stabilizátory mají laminární proudění;
3. sloupec - na celém povrchu rakety je turbulentní proudění (ve všech třech případech je profil stabilizátorů souděrný);
4. sloupec - na celém povrchu modelu rakety je laminární proudění (profil stabilizátorů s plochou náběžnou a odtokovou hranou mírně zaoblenou);
5. sloupec - na celém povrchu rakety je turbulentní proudění (profil stabilizátorů s plochou náběžnou a odtokovou hranou mírně zaoblenou).

**Poučení:**

- z diagramu vyplývá, jakou roli v odporu sehraává ocasní část trupu rakety; tam je oblast možnosti snížení celkového odporu (zvláště u laminárního proudění);
- je nutné si rovněž všimnout změny koeficientu celkového odporu; ze spodního sloupce vyplývá, že více než polovina odporu připadá na trup modelu rakety;
- v případě použití 3 stabilizátorů místo 4, sníží se celkový odpor asi o 7%.

Jistě nás bude zajímat, jak se budou měnit koeficienty odporu jednotlivých částí modelu rakety, při změně rychlosti letu v případě turbulentního a laminárního proudění vzduchu. To je možné odvodit z grafů 8.44, 8.45, 8.46 a udělat si závěry pro konstrukci vlastního modelu rakety.

Naproti tomu, že koeficient klesá s rychlostí, skutečný odpor se zvětšuje s růstem rychlosti.

Proto se teď ptáme, jaká změna velikosti úhlu náběhu ovlivňuje velikost koeficientu odporu modelu rakety. Vlastní rozbor si můžeme udělat podle grafu 8.47.

V další úvaze si musíme uvědomit, že budeme-li porovnávat hmotnost modelu s odporem modelu rakety, pak odpor mnohonásobně převyšuje hmotnost a stává se rozhodujícím faktorem pro dosažení maximálního výkonu při zvýšení rychlosti letu. Bude-li rychlost letu klesat, nebude odpor sehraávat hlavní roli, ale převezme ji hmotnost modelu rakety. Znamená to, že model rakety o vyšší hmotnosti nemusí být aerodynamicky „čistý“ z hlediska požadavků aerodynamiky.

A teď se budeme zajímat o to, jakou rychlostí bude model padat v případě, že nedojde k výmetu návratného zařízení. To je možné vyčíst z grafu 8.46.

Po dosažení kulminačního bodu výšky přitahuje gravitační síla model rakety zpět na zem. Model bude zvyšovat svou rychlost do té doby, kdy dojde k vyrovnání odporu modelu rakety s hmotností. V ten moment je gravitační přitažlivost vyvážená s odporem a model rakety nemůže zvyšovat rychlost. Jde o tzv. maximální rychlost - tj. „konečnou rychlost“.

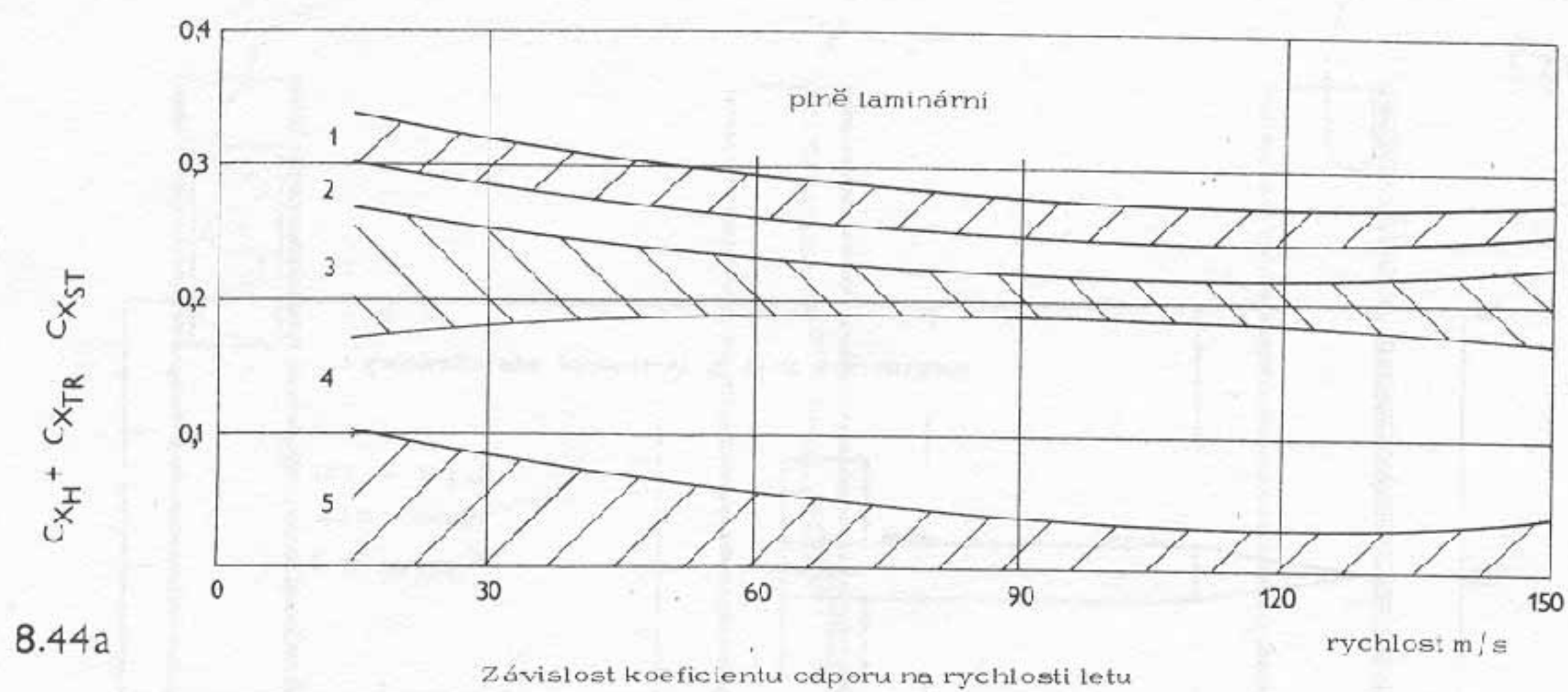
## 8.4. Možnosti snížení odporu modelu rakety

### 8.4.1. Zpracování modelu rakety

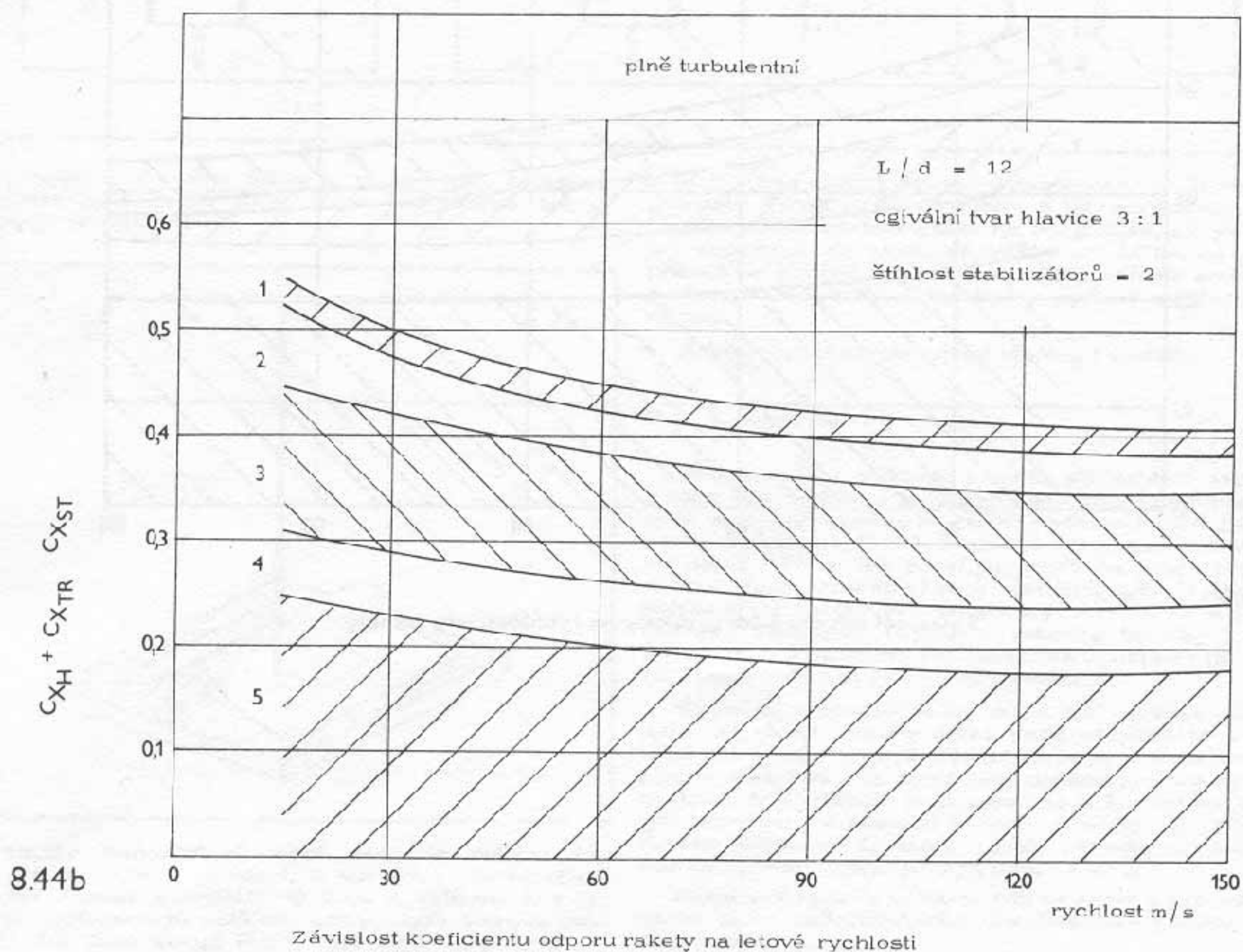
Odpor se projevuje ve třech formách:

- nerovnost tlaku;
- tření vzduchu po povrchu modelu rakety;

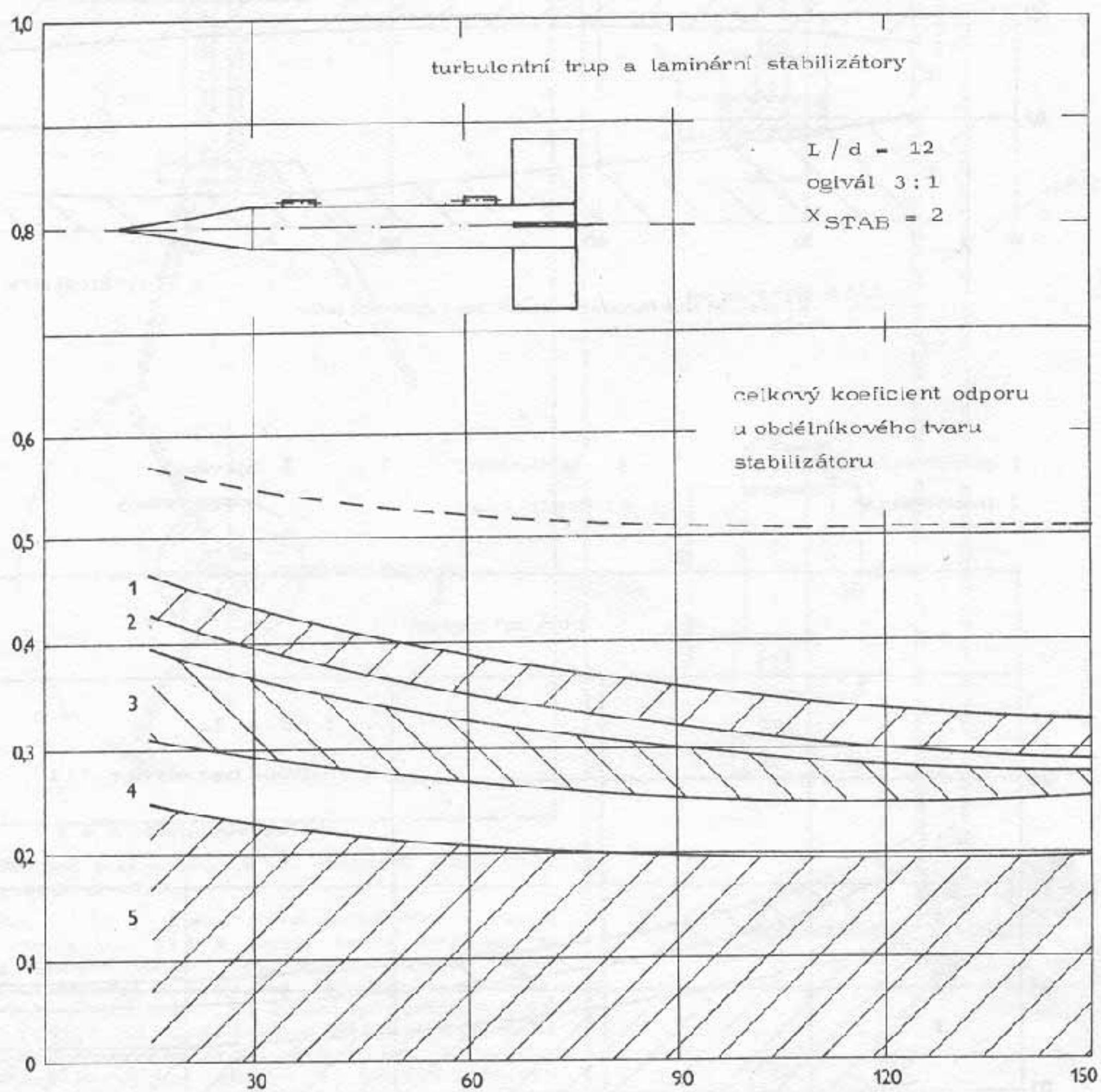




- |                      |                 |               |
|----------------------|-----------------|---------------|
| 1 startovací vodítko | 3 stabilizátory | 5 hlavice     |
| 2 interference       | 4 ocasní část   | a trup rakety |



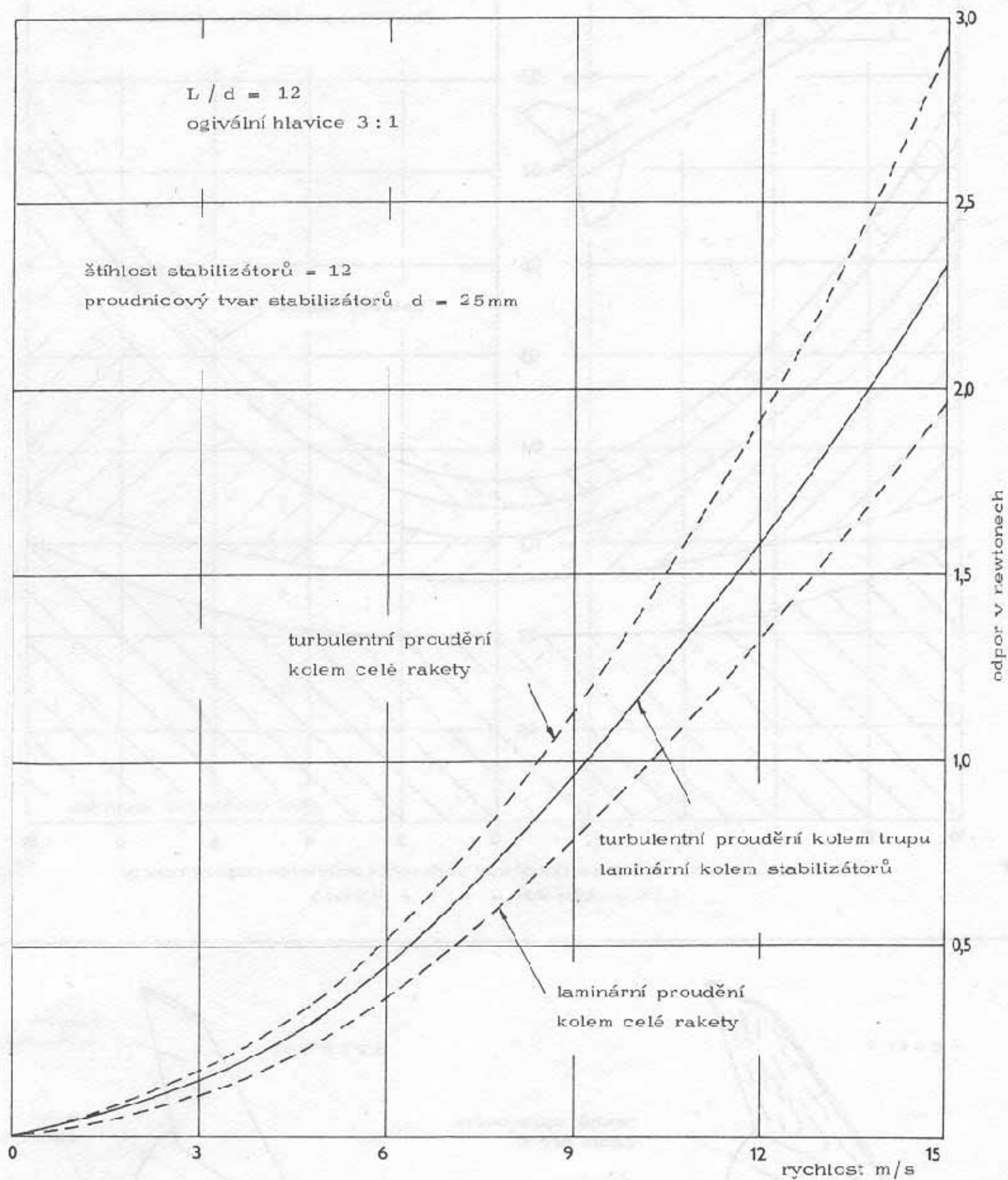




8.45

Závislost odporu modelu rakety na rychlosti letu rakety

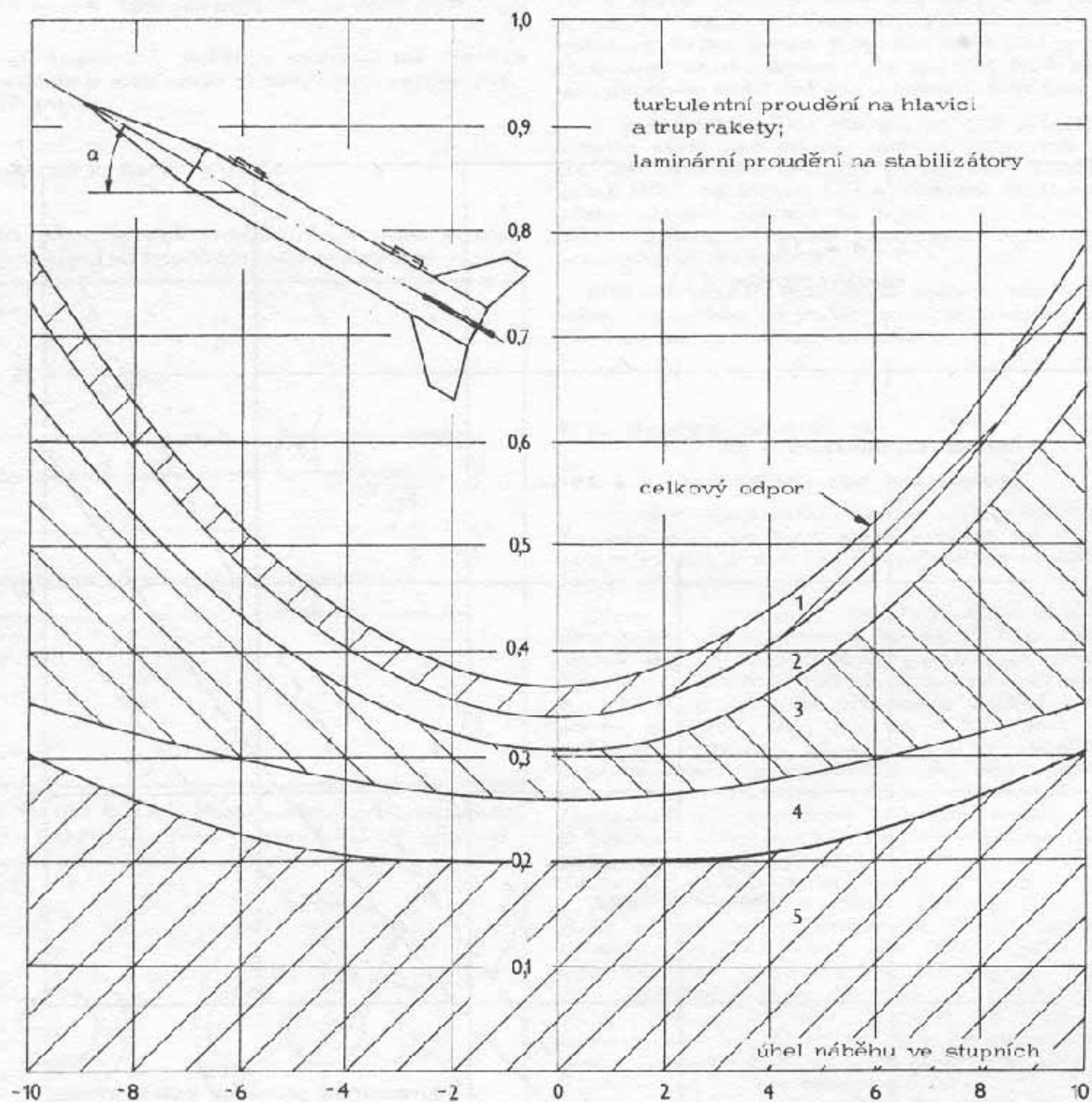




8.46

Závislost odporu modelu rakety na letové rychlosti

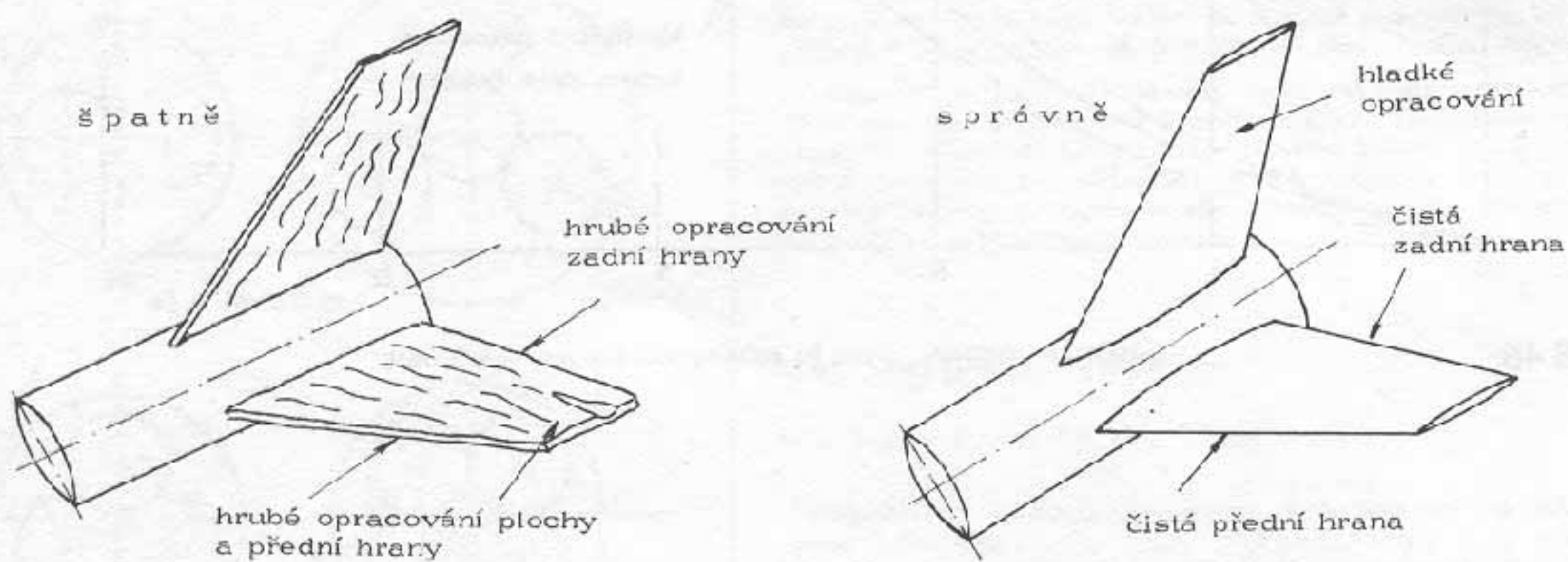




8.47

Vliv velikosti úhlu náběhu na rozdělení velikosti koeficientu odporu rakety

$L/d = 12$ ;  $AR = 2$ ;  $V = 90 \text{ m/s}$



8.48

Zpracování stabilizátorů



- jako překážka pro vytvoření aerodynamické síly potřebné pro zabezpečení stability modelu.

Proces snižování odporu je nutné hledat a řešit právě přes tyto tři oblasti. V předcházejících oddílech jsme si rozebrali a identifikovali velikosti odporu způsobeného různými částmi modelu rakety.

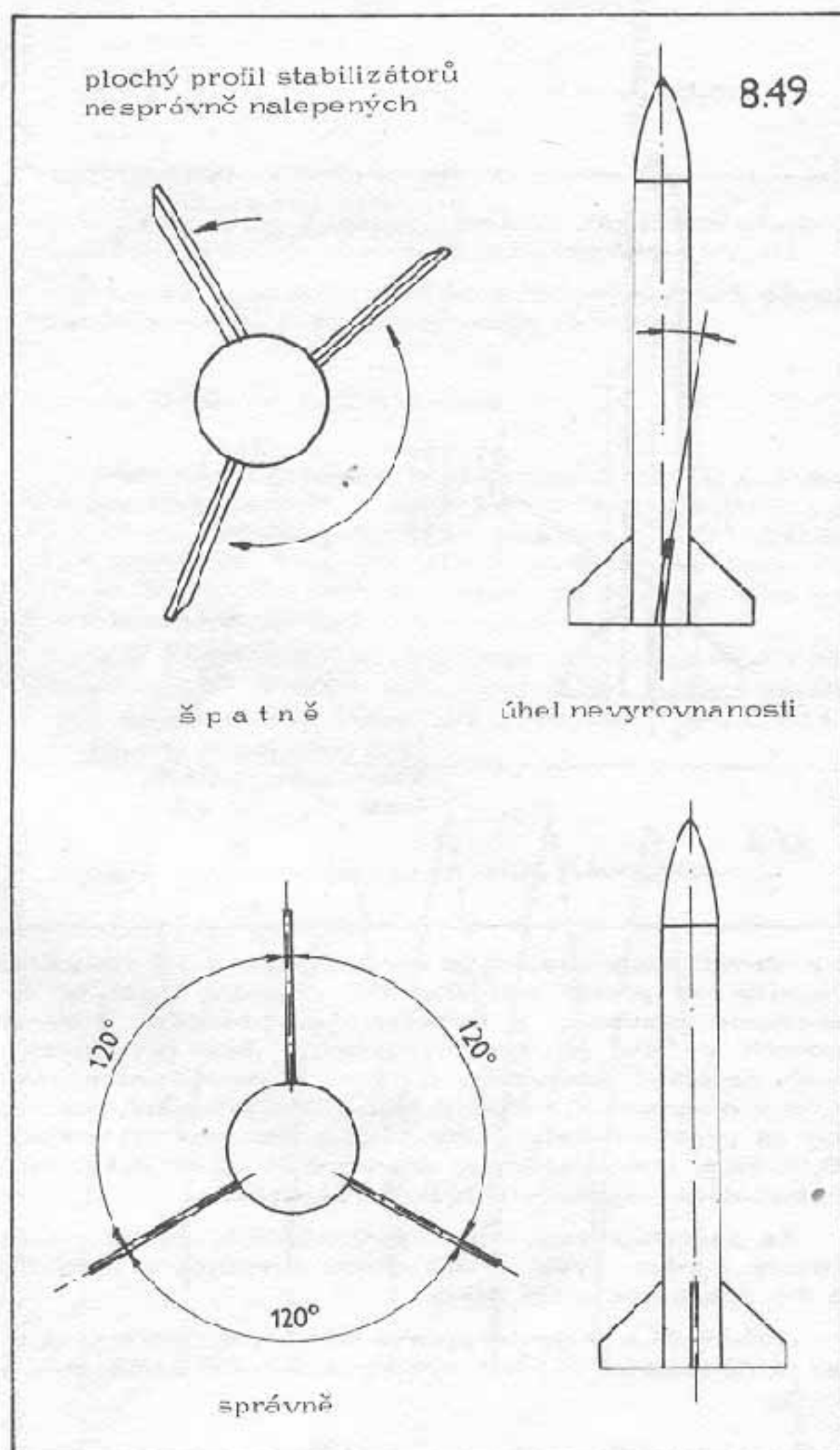
Našli jsme správné tvary hlavičky, trupu rakety, stabilizátorů a seznámili jsme se s grafy pro možnost praktického použití.

Zjistili jsme, že ocasní část modelu rakety způsobuje značnou část celkového odporu. Jde tedy o to, jak tento odpor snížit. Podobně musí existovat způsob snížení interferenčního odporu a v neposlední řadě též o celkové zpracování modelu včetně povrchové úpravy.

V následující stati chceme upozornit na nejjzákladnější části modelu rakety, kterým je nutné věnovat zvýšenou pozornost a dosáhnout tím minimálního odporu.

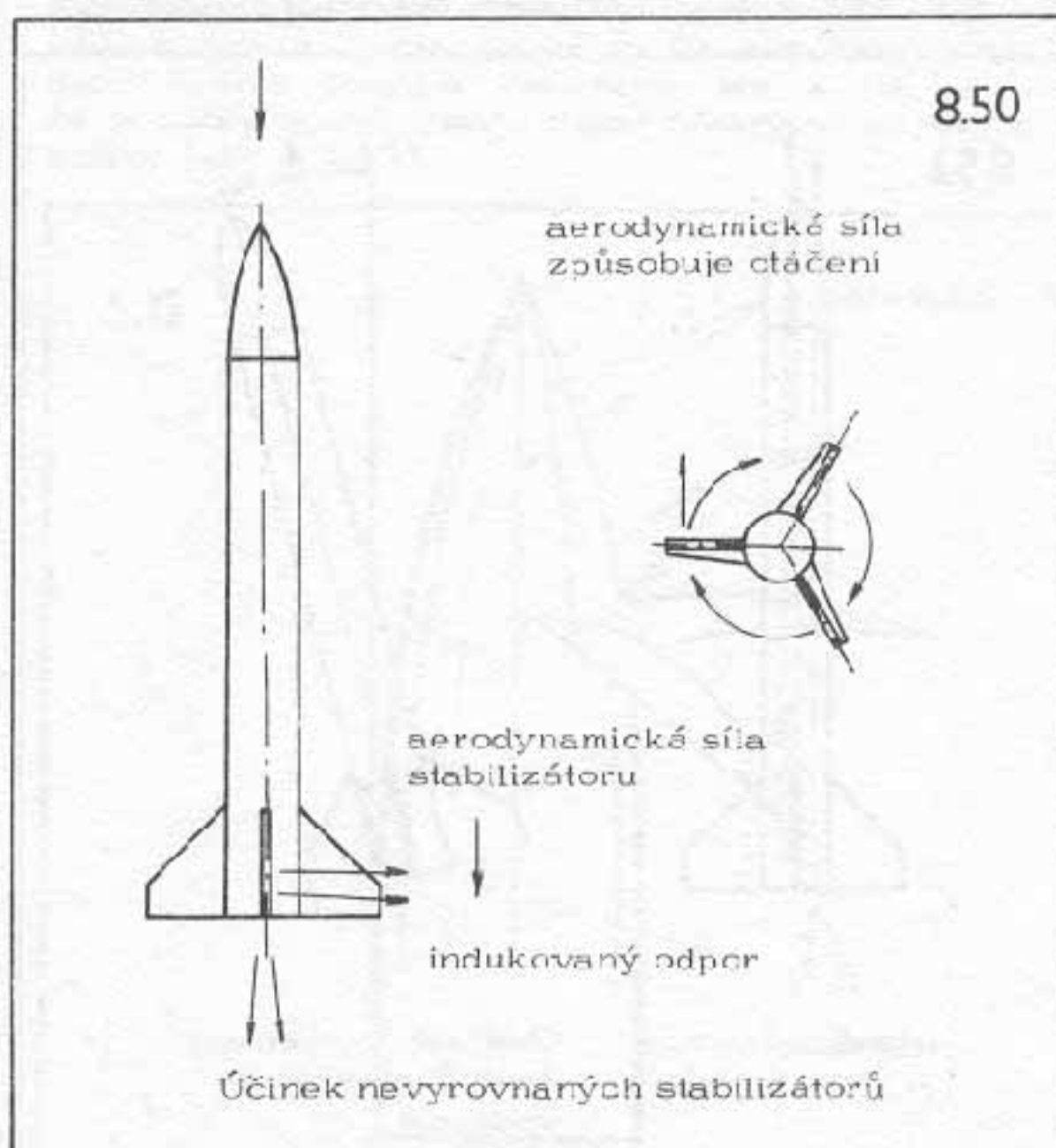
Stabilizátory - z vedlejšího obr. č. 8.48 je patrný způsob zpracování povrchové úpravy.

Rozmístění stabilizátorů musí být v pravidelných vzdálenostech (obr. č. 8.49) a musí být přesně v podélné ose modelu rakety.

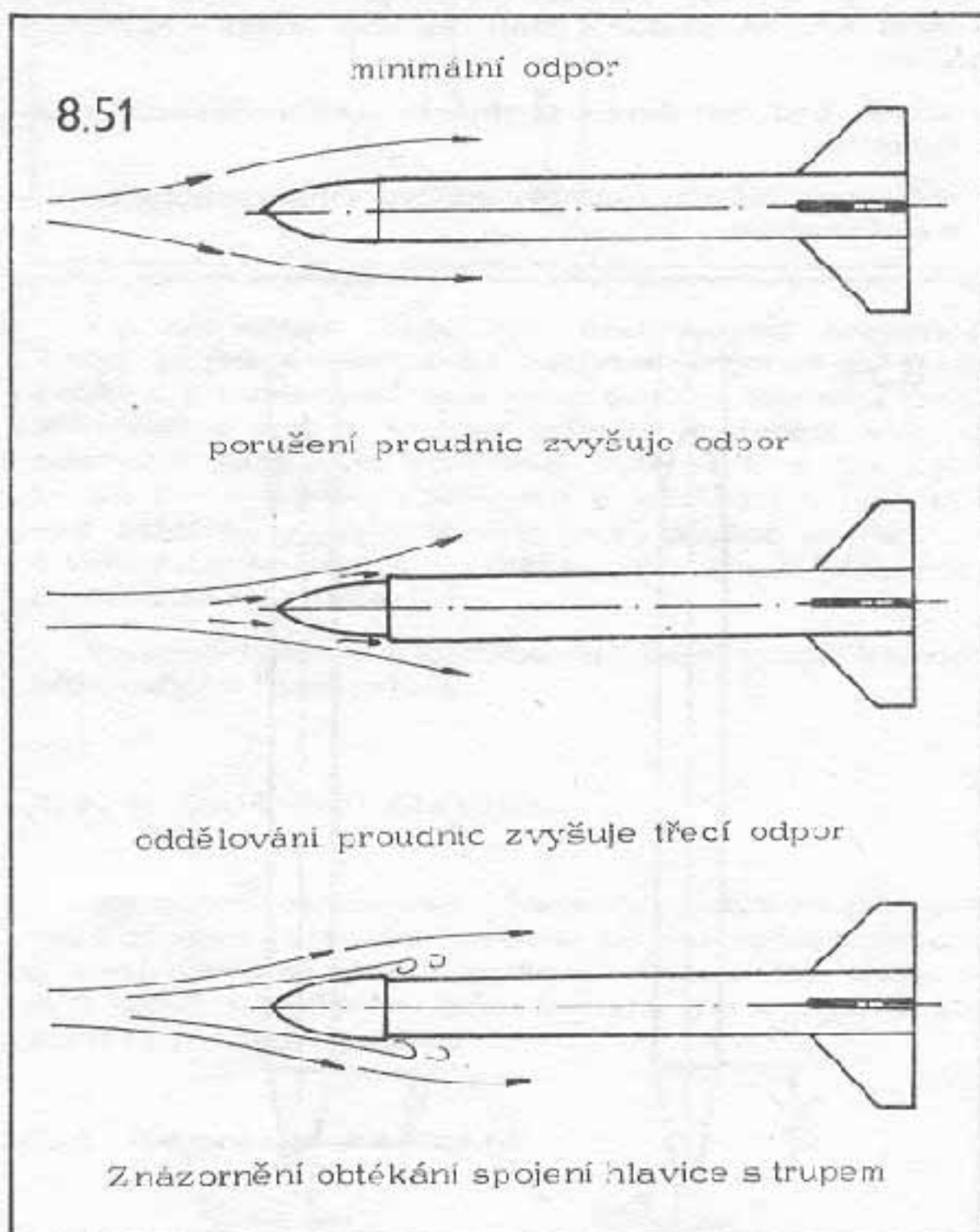


Jakákoliv nevyrovnanost způsobuje otáčení modelu ve stoupajícím letu a dochází tím ke zvětšování odporu. Otáčení okolo podélné osy je způsobeno proudícím vzdu-

chem okolo nevyrovnaných stabilizátorů pod úhlem náběhu. Vytváří se aerodynamická síla i když je model rakety v nulovém úhlu náběhu.



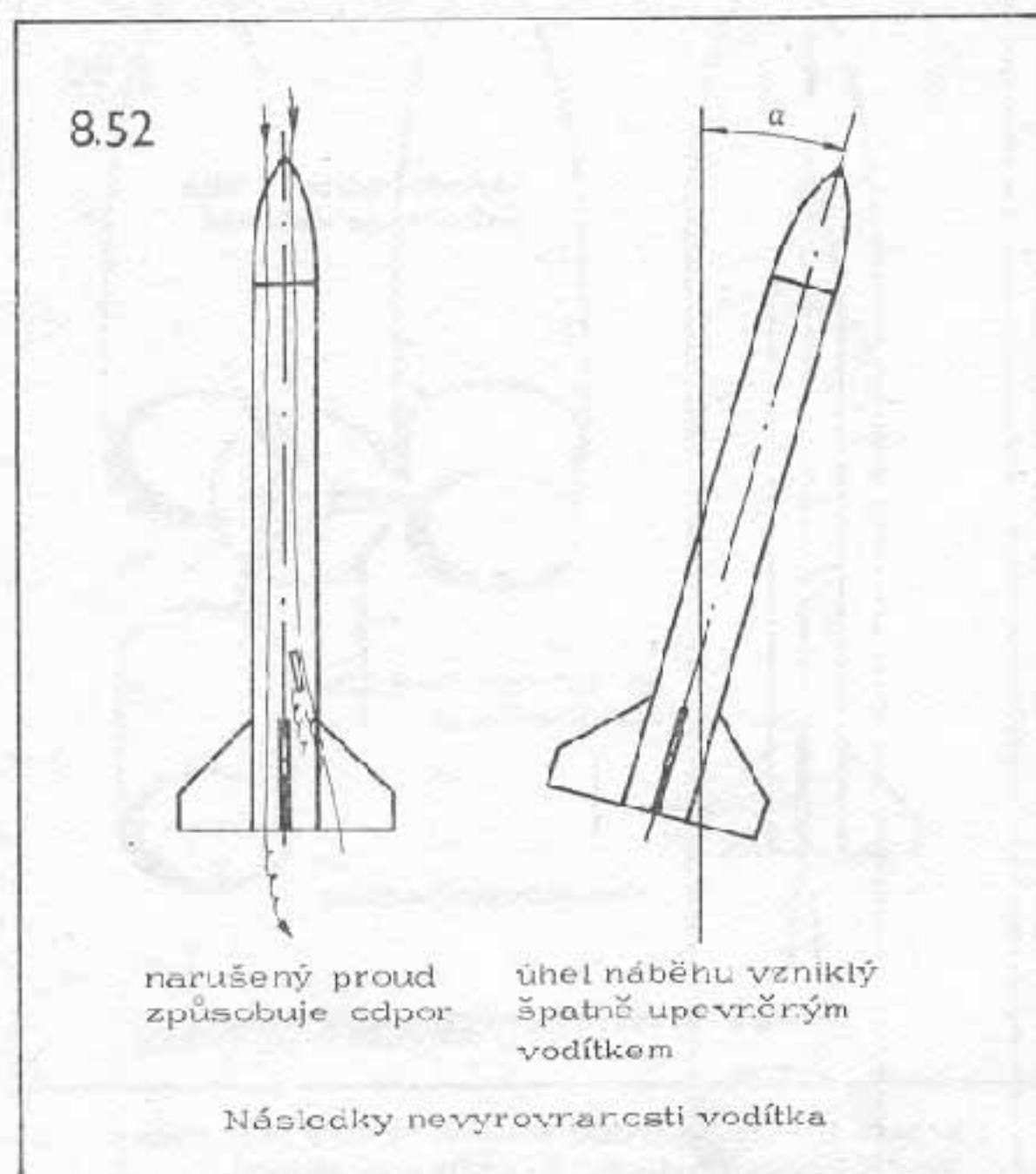
Spojení hlavičky a trupu modelu rakety je jedním z rozhodujících faktorů ovlivňující velikost odporu. (Obr. č. 8.51)



Nesmíme též zapomenout na startovací vodičko, které musí být v ose a připevněné v blízkosti stabilizátoru. V opačném případě poleť model rakety od samého po-

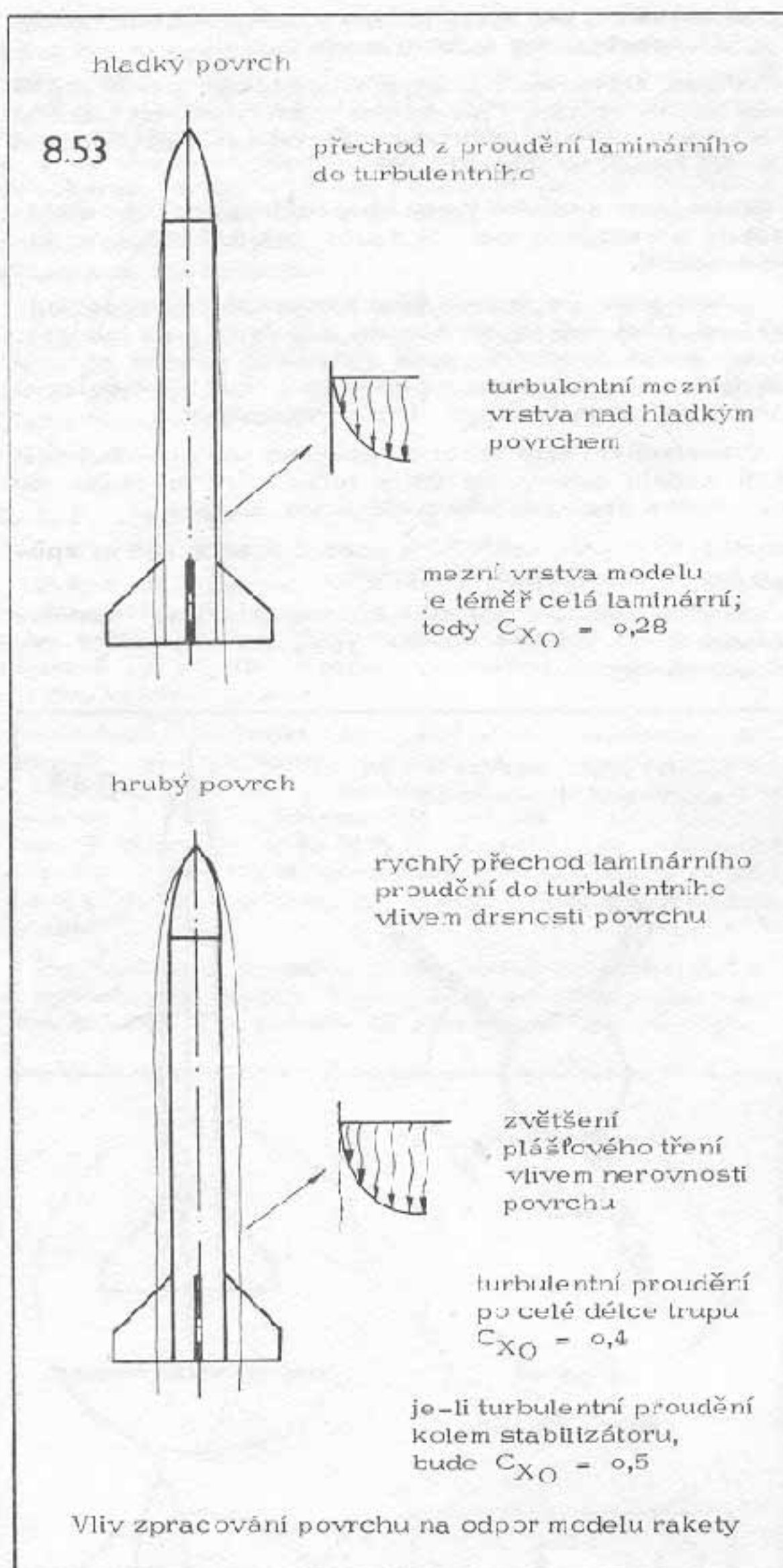
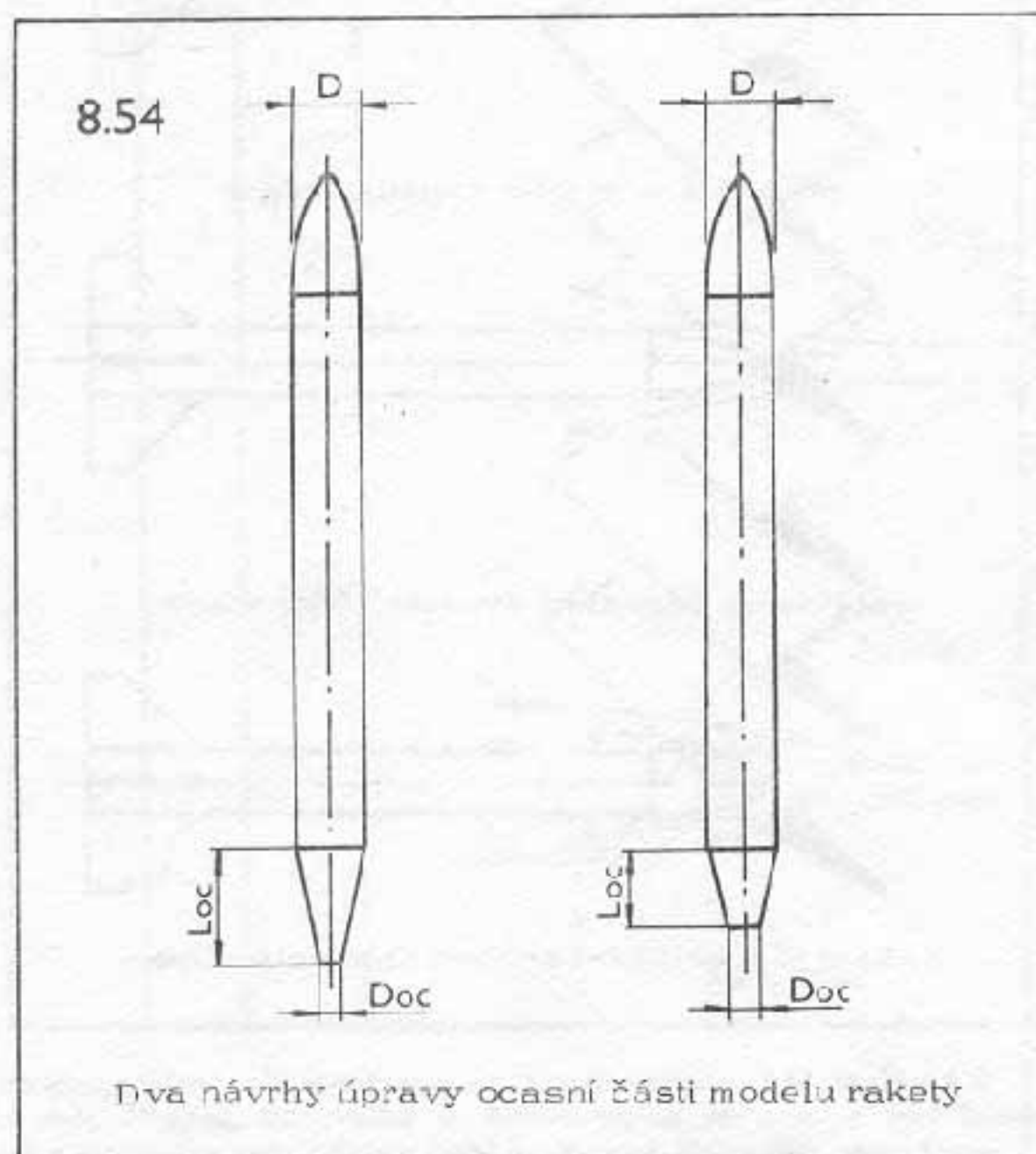


čárku pod úhlem náběhu  $\alpha$  bude mít větší odpor než model letící s nulovým úhlem náběhu. Jestliže model vyrovná svou dráhu, nevyrovná vodítko a dojde k odtrhávání proudnic, což způsobí narůstání odporu. (Obr. č. 8.52)



Hlavní pozornost musíme věnovat povrchové úpravě modelu rakety, protože hraje velkou roli v celkovém odporu:

- určuje bod, ve kterém laminární vrstva přechází v turbulentní;
- určuje skutečnou hodnotu odporu způsobeného turbulentní vrstvou.



Na hlavici modelu rakety je zpravidla laminární proudění. Jestliže se proud vzduchu šíří dozadu, zvětšuje se tendence přechodu k turbulentnímu proudění. Bude-li povrch pečlivě zpracován, (hladký bez nerovností) bude proudění laminární - tj. odpor bude mít malou hodnotu - a naopak. Co dokáže turbulentní proudění, poznáme na výkonu rakety. Bude-li drsnost povrchu vysoká 0,005 mm, bude koeficient odporu o 21 - 24 % vyšší, než je turbulentní hodnota u hladkého povrchu.

Za pozornost stojí říci, že je výhodnější volit hmotnost rakety o něco vyšší s důkladnou povrchovou úpravou a tím dosáhnout nižší odpor.

Svědomitá a perfektní úprava se vždy vyplatí a projeví se to v podstatně vyšších výkonech, zvláště u výškových raket.

#### 8.4.2. Úprava ocasní části modelu rakety

Z grafu uvedeného na obr. č. 8.57 jednoznačně vyplý-



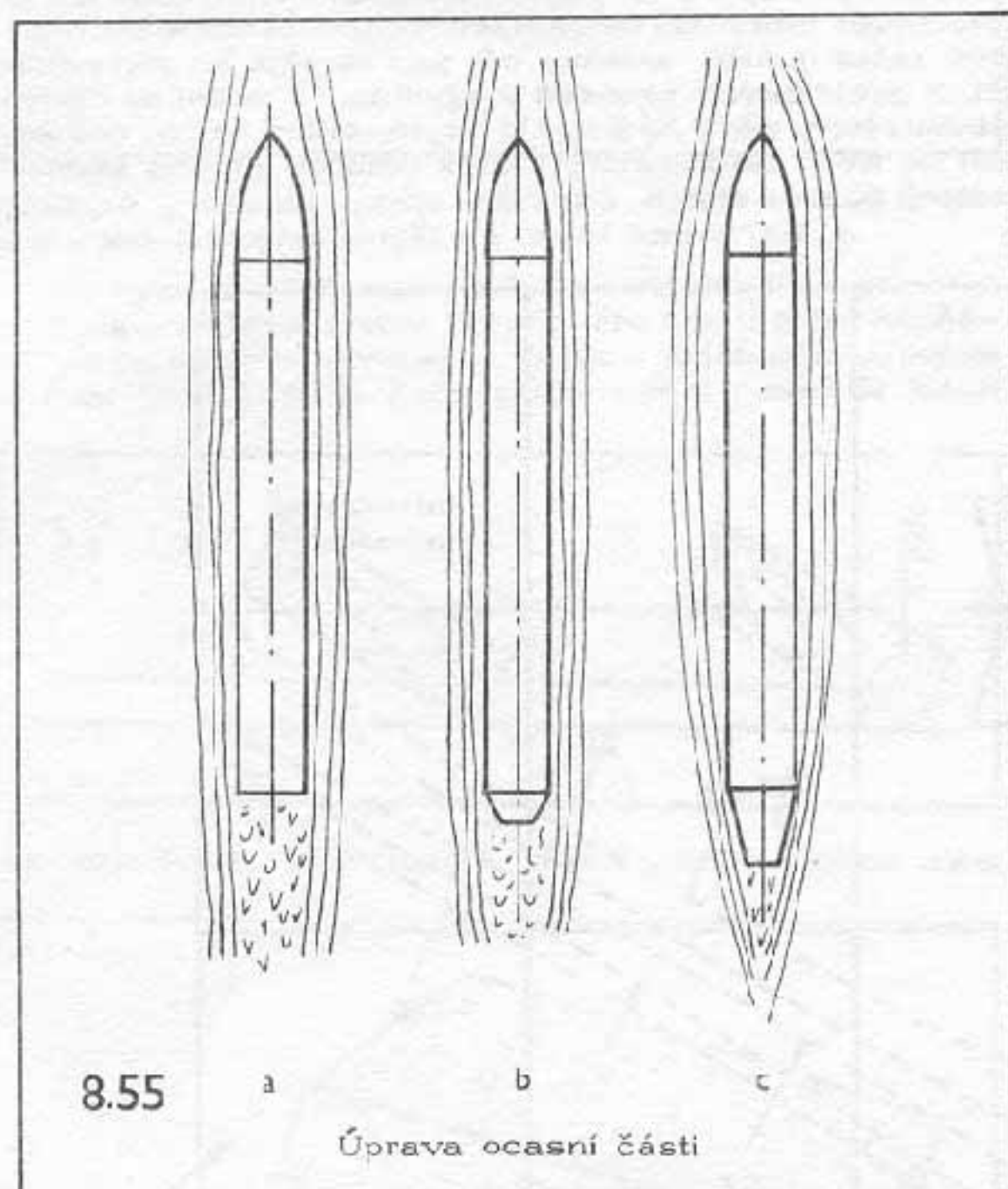
vý, že z celkového odporu zabírá asi 30% tupé zakončení ocasní části. Zaslouhuje si proto velkou pozornost. Pravdou však zůstane, že musíme přijmout určité množství odporu, protože model musí mít tupé zakončení dané raketovým motorem. Odpor ocasní části lze zredukovat vhodnou úpravou (obr. č. 8.54 na vedlejší straně).

Jde jednoznačně o zmenšený průměr trupu rakety na průměr motoru. (Lze použít i vhodný nástavec odpovídající předpisům FAI).

Ocasní upravená část může mít tvar ogivální nebo kuželový. Na základě provedené úpravy ocasní části trupu rakety nám vyplývají nové pojmy:

- poměr -  $\frac{\text{konečného průměru ocasní části}}{\text{maximální průměr trupu rakety}} = \frac{D_{oc}}{D}$ ;
- délka ocasní části modelu rakety  $L_{oc}$ ;
- úhel ocasní části pro kuželový tvar.

Proudnicové pravidlo u třech raketových těles s rozdílnými návrhy tvaru ocasní části je na obr. č. 8.55:



- a) s plochým (tupým) ukončením ocasní části má velký úplav;
- b) s krátkým kuzelem má úplav, který se trochu liší od příkladu a);
- c) s dlouhým kuzelem má podstatně jiné proudnicové pravidlo.

Vzduch proudící kolem mírně zužujícího se kužele snižuje podstatně velikost úplavu. Pamatujme si, že velikost úplavu je přímo spojená s tlakovým odporem, působícím na jakýkoliv tvar. Podle velikosti úplavu – tedy tvaru ocasní části – snižujeme vlastně tlakový odpor modelu rakety.

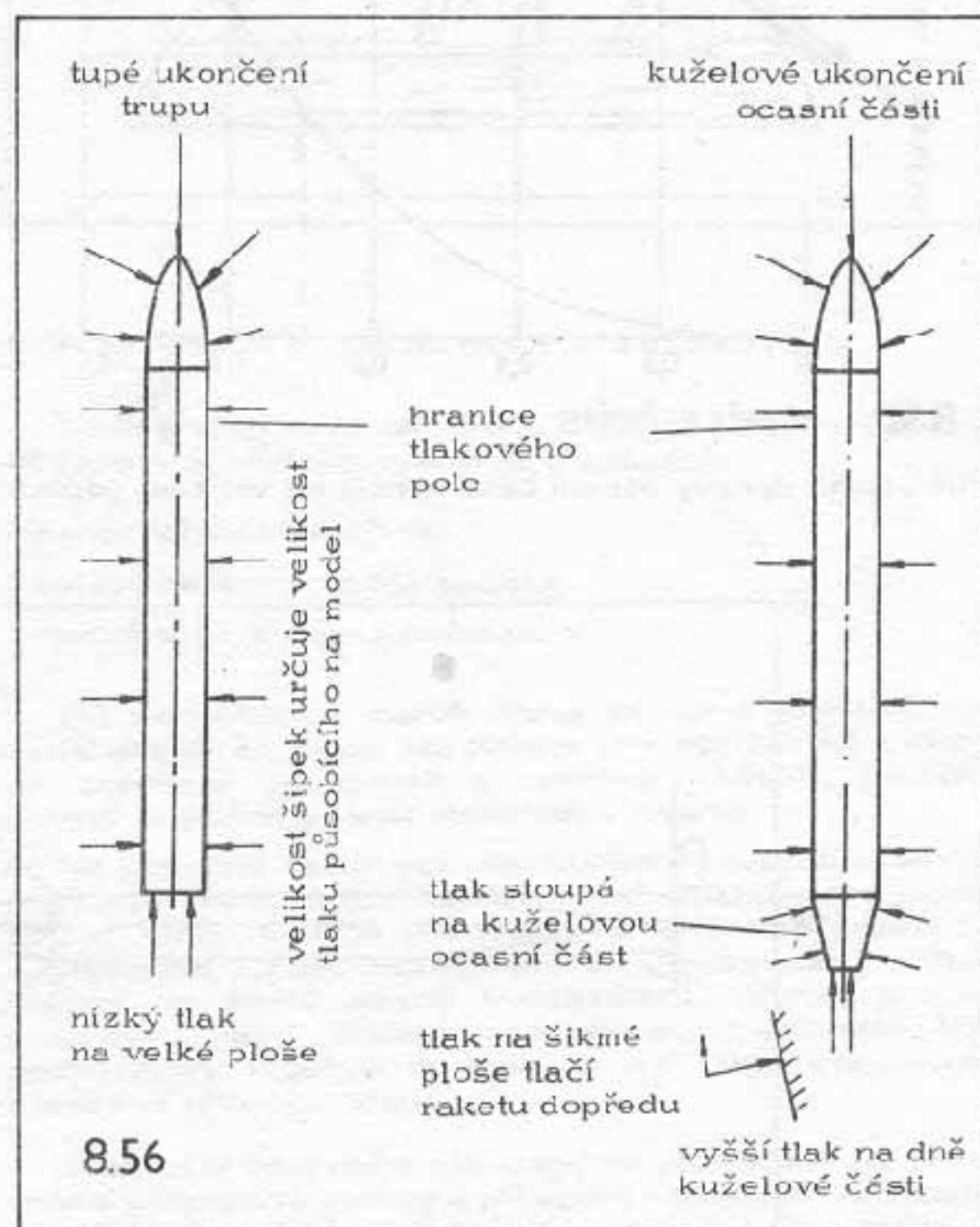
Provedení b) je s velkým úhlem  $\gamma = 20^\circ$  proto, abychom upozornili na to, že úhel musí být mírný, aby tvar ocasní části byl vysoce účinný.

Bude-li úhel větší než  $5^\circ$ , proudnice nebudou sledovat tvar ocasní části.

V důsledku viskozity vzduchu nelze provádět náhlé změny směru proudnic, aby se neodělovaly od povrchu modelu rakety. Zvětšuje se tím úplav i odpor.

Jestliže provedeme úpravu ocasní části modelu rakety, jak je uvedeno, snížíme odpor ocasní části ve třech rozdílných užitečných aerodynamických účincích:

- a) sníží se skutečná plocha ukončení modelu rakety a tím bude nízký tlak působit na menší povrch ocasní části;
- b) tlak v kuželové ocasní části je vyšší než tlak v ocasní části bez úpravy;
- c) tlak na povrchu upravené ocasní části způsobuje značné snížení odporu v ocasní části.



Tento poslední účinek doplníme názorně. Co se stane, vezmeme-li pečku z třešně a stlačíme ji mezi palcem a ukazováčkem? Tlakem prstů na šikmé plochy pečky pečku vystřelíme dopředu. Stejný děj je i u upravené kuželové ocasní části rakety. Tlak vzduchu není tak velký, aby uvedl model rakety do pohybu. Je však dost velký k tomu, aby způsobil značné snížení odporu v ocasní části rakety.

Z výše uvedeného jednoznačně vyplývá důležitost úpravy ocasní části rakety. Jak dalece ovlivňuje snížení odporu vidíme na obr. č. 8.57 (na následující straně).

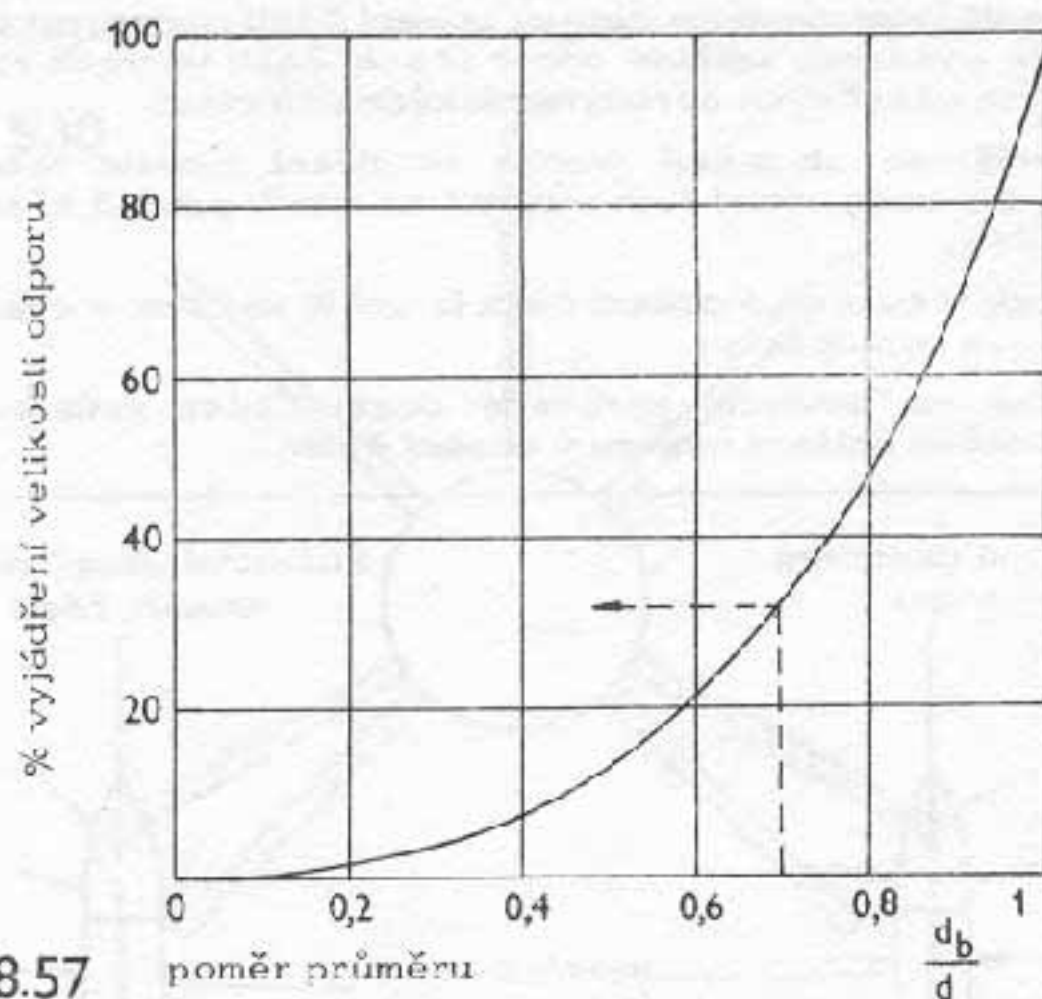
Graf 8.58 je založen na aerodynamických pokusech modelů raket s úpravou ocasní části. Tyto pokusy jednoznačně naznačily, že odpor v ocasní části klesá jako kubická hodnota. Znamená to, že: odpor ocasní části modelu rakety se rovná ocasní části bez úpravy krát  $\left[\frac{D_{oc}}{D}\right]^3$ .

Jak mnoho se změní celkový odpor rakety v případě úpravy ocasní části vidíme na grafu 8.58.

Charakteristickým pro výše uvedené je to, že laminární mezí vrstva je úpravou ocasní části více ovlivňována než turbulentní. Je to způsobené tím, že odpor v ocasní části vytváří větší část celkového odporu tělesa pro laminární případ.

Závěrem lze dodat, že úprava ocasní části je účinná a vede k dosažení lepších výkonů. Zkušenost ukazuje, že je vhodnější volit o něco větší průměr rakety a mít upravenou ocasní část.





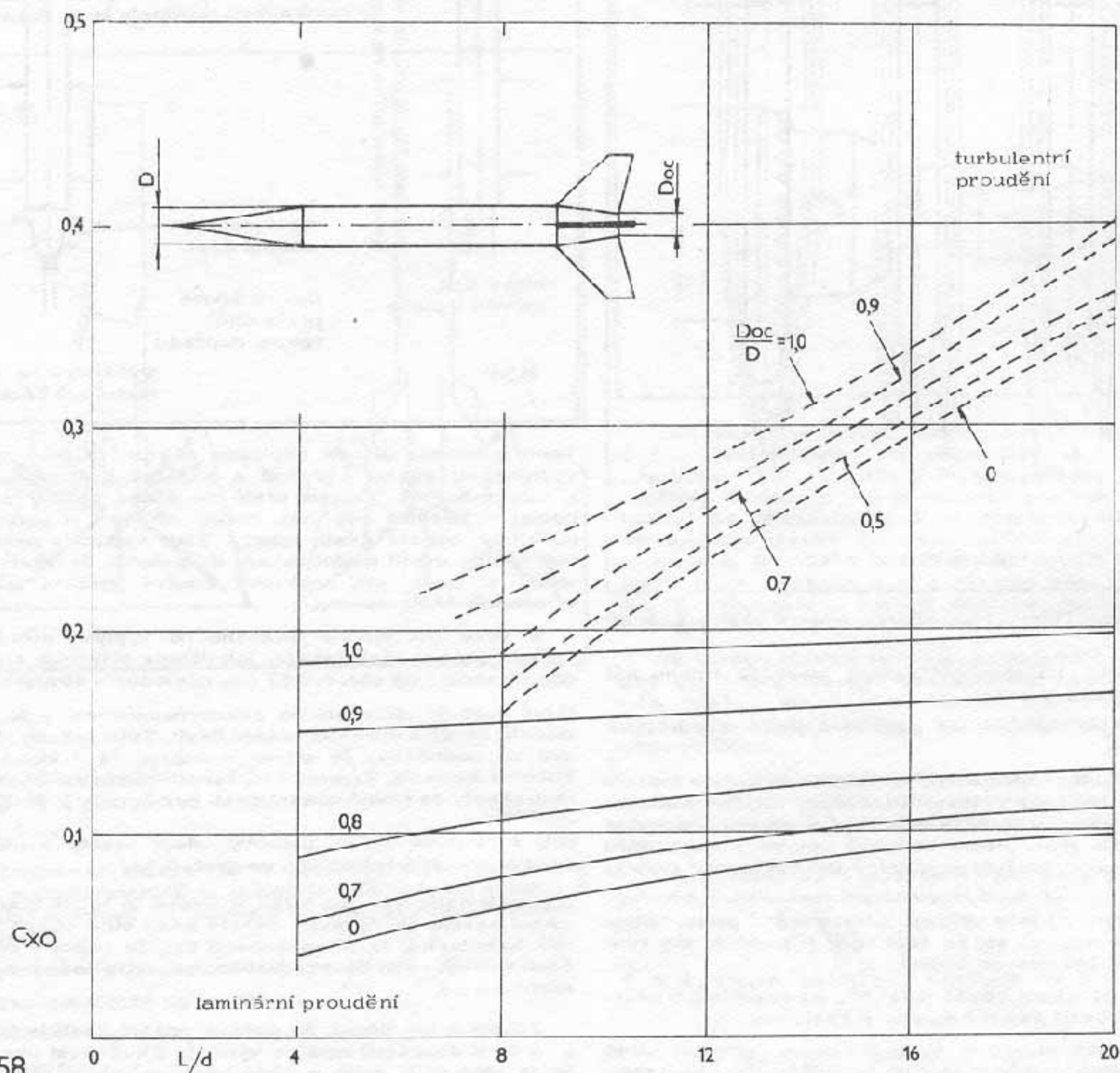
Vliv účinku úpravy ocasní části rakety na velikost odporu

#### 8.4.3. Interferenční odpor

Dalším problémem snížení odporu je interferenční odpor. Tento odpor je výsledkem proudícího vzduchu v podélné ose tělesa rakety, přičemž dochází k nepříznivému vzájemnému působení tohoto proudícího vzduchu a vzduchu proudícího kolem stabilizátoru. Interference mezi těmito dvěma proudy vzduchu způsobuje dodatečný odpor, který vyvolává odpor tělesa a stabilizátorů, jsou-li spojeny dohromady, přičemž tento odpor je větší než odpor těchto dvou částí samostatně.

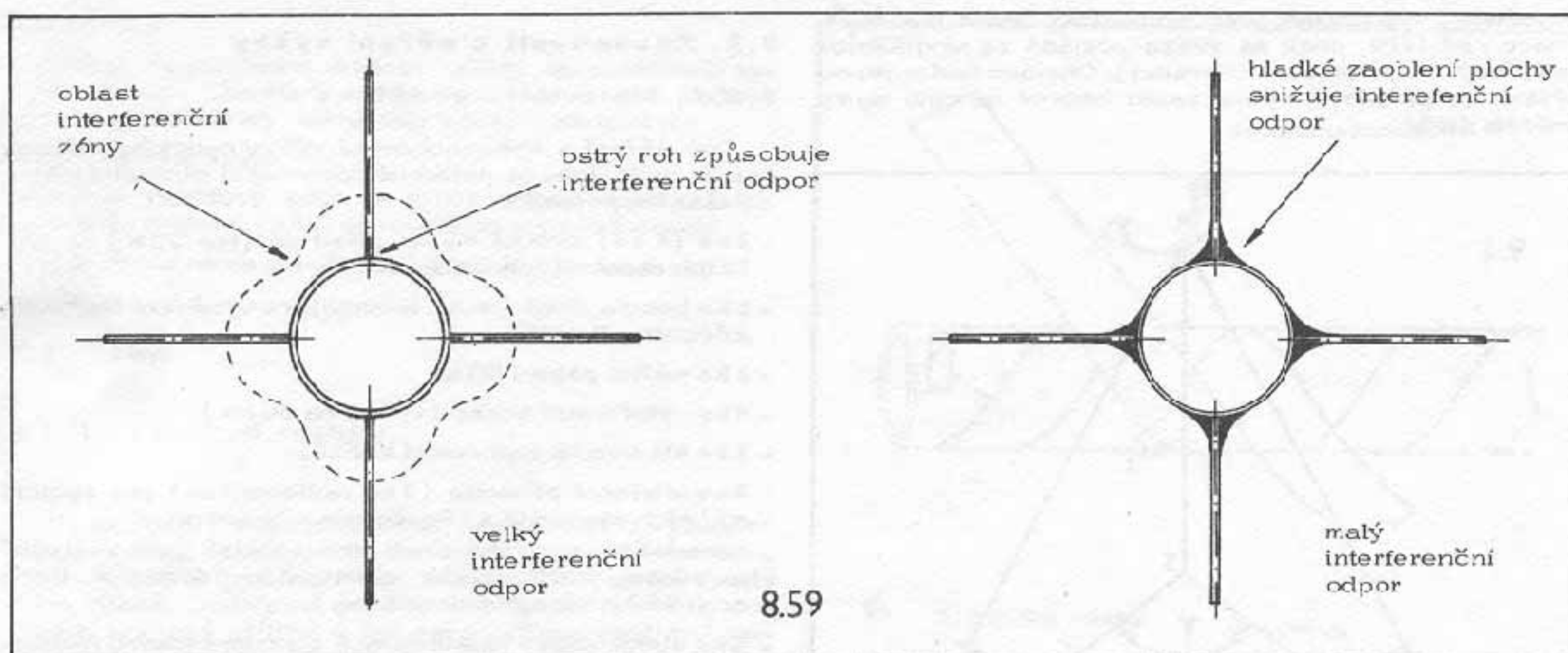
V úvodní části jsme uvedli, že tento interferenční odpor může dosáhnout hodnotu 10% z celkového odporu rakety. I když tato hodnota je podstatně menší než u neupravené ocasní části, musíme tomuto odporu věnovat pozornost a pokusit se o jeho snížení.

Jedna ze základních podmínek určující velikost interferenčního odporu je počet stabilizátorů, protože tím je dán počet přechodů vytvářejících interferenci. Jeden nebo dva nelze použít, musíme mít pro stabilní let minimálně tři. Z praktických zkoušek vyplynulo, že model se čtyřmi stabilizátory měl o 33% vyšší interferenční odpor, než model se třemi stabilizátory i když celková plocha stabilizátorů zůstala stejná.



Vliv úpravy ocasní části modelu rakety na velikost koeficientu odporu při nulovém úhlu náběhu





Dalším způsobem ke snížení interferenčního odporu je zhotovení dokonalého zaoblení přechodu mezi trupem a stabilizátory. Tento aerodynamický přechod působí tak, že jemně spojuje dva oddělené proudy vzduchu. Hladkost povrchu tohoto přechodu je proto nutná. Skutečné snížení interferenčního odporu zaoblovací metodou je prokazatelné; jeho číselné vyjádření je však velmi obtížné. (Obr. č. 8.59)

#### 8.4.4. Pravidla pro snížení odporu modelu rakety

Shrnutí všech hlavních myšlenek z této statě tvoří základní pravidla pro snížení odporu modelu rakety:

- Kvalitní zpracování modelu**  
Od samého počátku stavby modelu se snažme všechny pracovní úkony provádět důsledně a pečlivě. Zvýšenou pozornost věnujme spojení hlavice s trupem, zaoblení náběžné hrany a úpravě odtokové hrany stabilizátorů.
- Přesné vyrovnění stabilizátorů a vodítek**  
Vyrovnáme-li stabilizátory přesně do podélné osy, předejdeme rotaci modelu při stoupání. Eliminujeme tím nepotřebný indukovaný odpor způsobený točivým pohybem. Nevyrovnanost vodítka v ose odtrhává proudnice vzduchu a zvětšuje odpor.
- Provedení kvalitní povrchové úpravy**  
Kromě toho, že hladký povrch vytváří hezký vzhled modelu, snižuje i přechod laminárního proudění na turbulentní s vysokým odporem. A je-li proudění turbulentní, bude mít hladký povrch menší odpor než povrch drsný. Rovněž pro snížení plášťového tření je výhodné udělat povrch zrcadlově hladký.
- Provedení úpravy ocasní části**  
Máme-li možnost tuto úpravu zhotovit, využijeme toho ke snížení hodnoty odporu v ocasní části, který jinak tvoří značnou část celkového odporu.
- Provedení zaoblených přechodů u stabilizátorů**  
Použitím vhodného počtu stabilizátorů a zhotovením přechodů mezi stabilizátorem a trupem rakety snížíme interferenční odpor.

Chceme-li postavit skutečně výkonný model, bude nutné uvedené grafy více studovat a odvozovat si z nich potřebné závěry vedoucí ke snížení celkového odporu modelu.

## 9. MĚŘENÍ VÝŠEK

Měření a vyhodnocování výškových soutěží raketových modelářů lze provádět různými metodami s využitím různých prostředků materiálního zabezpečení. Z hlediska výchovného je potřebné použít takové metody a prostředky, které zabezpečují požadovaný stupeň objektivity měření a vyhodnocování dosažených výkonů při výškových soutěžích.

Zodpovědný přístup funkcionářů, podílejících se na měření a vyhodnocování výšky, a odpovídající materiální zabezpečení pomáhá u soutěžících pěstovat důležité volní vlastnosti člověka, jakými jsou čestnost, objektivita, kritičnost k sobě samému a zabezpečuje důsledné splnění požadavků Sportovního řádu FAI pro výškové soutěže.

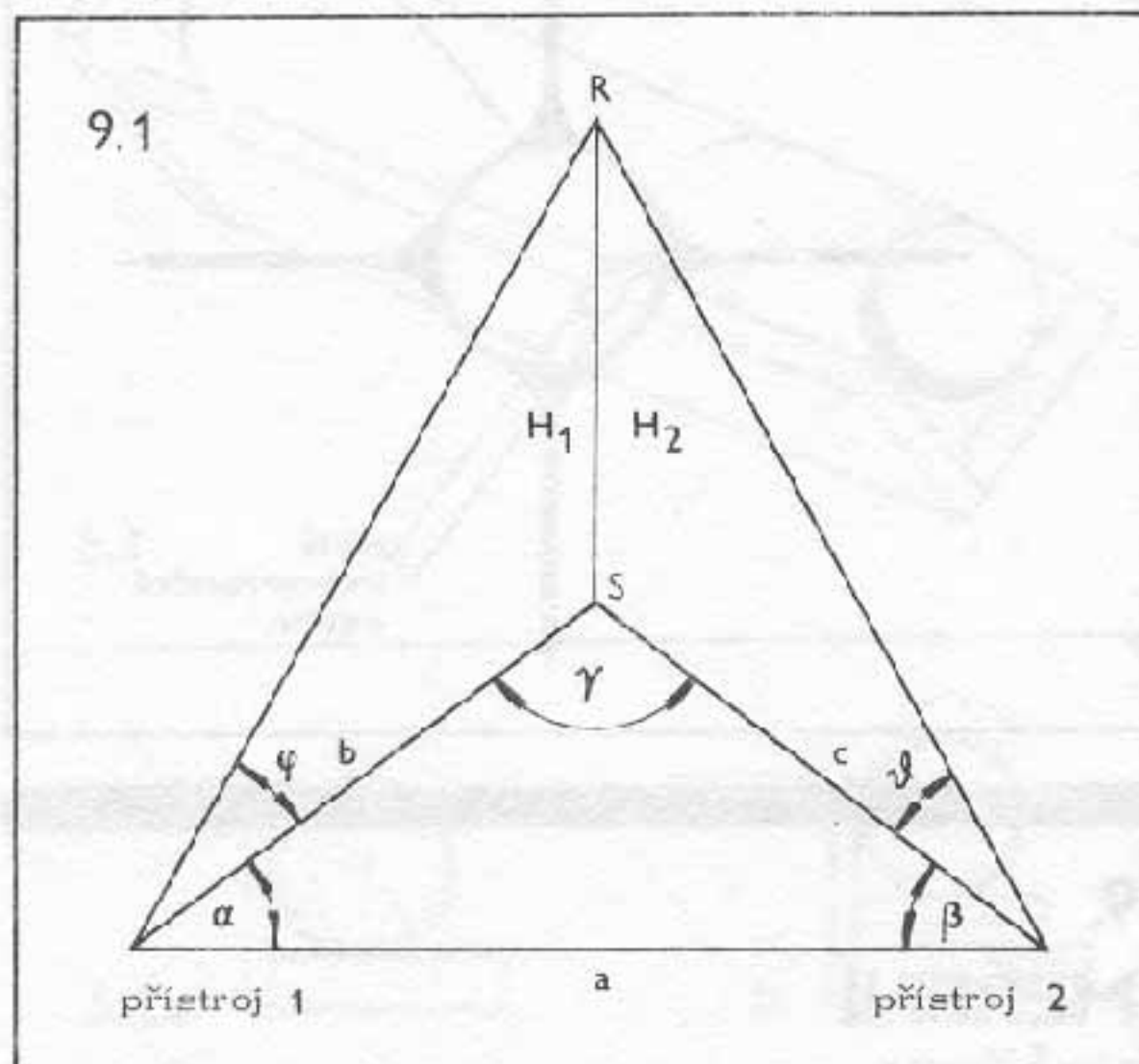
### 9.1. Požadavky na měření výšek

Pravidla FAI stanovují, že let modelu musí být sledován alespoň dvěma kalibrovými měřicími zařízeními, umístěnými na změřené základně (a) dlouhé nejméně 300 metrů, schopnými měřit úhly ve vodorovné i svislé rovině s přesností  $\pm 0,5^\circ$ . Obsluhy přístrojů určují azimut ( $\alpha, \beta$ ) a elevaci ( $\varphi, \psi$ ) v okamžiku, kdy model dosáhl největší výšky letu ( $R$ ). Z těchto údajů ( $\alpha, \beta, \varphi, \psi$ ) se vypočítává výška změřená prvním přístrojem ( $H_1$ ) a výška změřená druhým přístrojem ( $H_2$ ) pomocí triangulační metody.

Vypočítané výšky  $H_1$  a  $H_2$  podle údajů kalibrovaných měřicích zařízení se nesmí odlišovat od průměrné výšky



vypočtené, vypočítané jako aritmetický střed  $H = \frac{H_1 + H_2}{2}$  o více než 10%, jinak se výška pokládá za nezjištěnou (změřený výkon je mimo toleranci). Oficiální hodnocenou výškou je průměrná výška zaokrouhlená na celé metry směrem dolů.



#### 9.1.1. Princip výpočtu výšky

Výpočet výšky je nutno zahájit převodem zjištěných hodnot  $\alpha, \beta, \varphi, \psi$  z dílců na stupně pomocí převodního koeficientu  $K = 0,06$ .

U hodnot  $\alpha, \beta$  ( $^\circ$ ) vypočítáme:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

U hodnot  $\varphi, \psi$  ( $^\circ$ ) vypočítáme:

$$\frac{\tan \varphi}{\tan \psi}$$

Ze dvou změřených úhlů ( $\alpha, \beta$ ) v trojúhelníku (přístroj č.1, přístroj č.2, S) vypočítáme úhel  $\gamma$  podle vztahu:

$$\gamma = 180 - (\alpha + \beta) \quad (^\circ)$$

Dále vypočítáme hodnotu  $\sin \gamma$ .

Využitím sinové věty vypočítáme zbývající strany trojúhelníka ( $b, c$ ) pomocí vztahů:

$$b = \sin \beta \cdot \frac{a}{\sin \gamma} \quad (m)$$

$$c = \sin \alpha \cdot \frac{a}{\sin \gamma} \quad (m)$$

Nyní už můžeme vypočítat změřené výšky jednotlivými přístroji:

$$H = b \cdot \tan \varphi \quad (m)$$

$$H = c \cdot \tan \psi \quad (m)$$

Z těchto hodnot vypočítáme průměrnou výšku:

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (m)$$

Vypočítané hodnoty  $H_1$  a  $H_2$  v metrech porovnáme s intervalem  $\left[ H - \frac{H}{10} \right]$  až  $\left[ H + \frac{H}{10} \right]$  a jestliže hodnoty  $H_1$  a  $H_2$  padnou do tohoto intervalu, je průměrná výška  $H$  uznána za dosažený výkon v soutěži.

## 9.2. Zkušební z měření výšky

### 9.2.1. Materiální podmínky

Pro měření a vyhodnocování výšky optickým a výpočetním způsobem je potřebné následující minimální materiální zabezpečení:

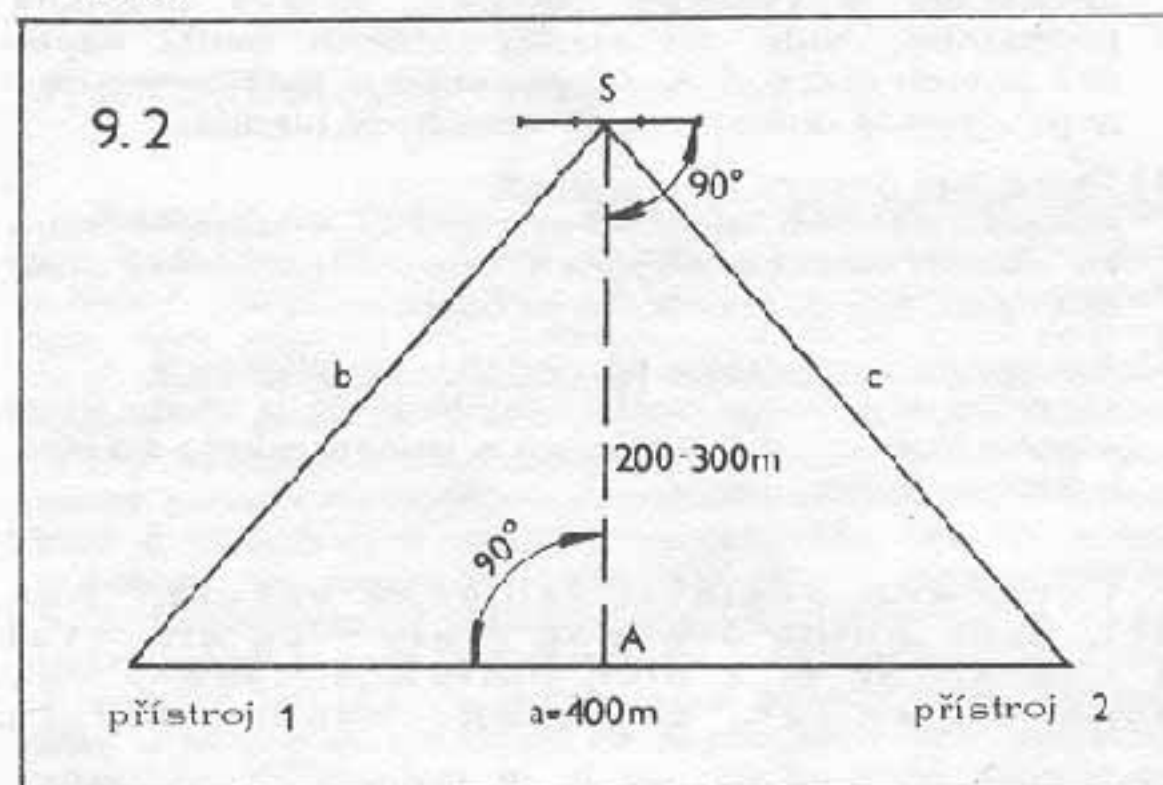
- 2 ks (4 ks) optické měřicí přístroje (typ TZK) na měřicích stanovištích č.1 a č.2;
- 1 ks buzola PAB (nebo teodolit) pro vyměření stanovišť měřicích přístrojů;
- 1 ks měřicí pásmo 50 m;
- 8 ks vytyčovací kolíky (výška na 60 cm);
- 1 ks kladivo na zatlučení kolíků;
- 3 ks telefonní přístroje (3 ks radiostanice) pro spojení měřicích stanovišť s výpočetním střediskem;
- dostatečné množství linek pro spojení (při základně  $a=400m$  vzdálené od startoviště 300m je třeba cca 750m spojovacích linek);
- 2 ks elektronické kalkulátory s goniometrickými funkcemi pro provádění výpočtů (nebo 1 ks programovatelný kalkulátor);
- dostatečný počet formulářů pro zapisování měřených údajů (vzor na obr. č.9.4);
- dostatečný počet formulářů pro výpočet výšky (vzor na obr. č.9.5);
- 4 ks poznámkové bloky a psací potřeby pro vyčítače úhlů a počítáče;
- 2 (4) měřiče výšky;
- 2 (4) vyčítače úhlů;
- 3 telefonisty (radiisty);
- 1 zapisovače úhlů na výpočetním středisku;
- 2 počítáče hodnot výšek.

### 9.2.2. Příprava stanovišť pro měření výšky

Pro měření výšky je třeba vytýčit dvě stanoviště optických přístrojů. Před zahájením vytyčování stanovišť je důležité zvolit střed linie odpalovacích ramp (S) a stanovit, kde se bude nacházet slunce v době skutečného měření výšky. Přibližné rozmístění stanovišť optických přístrojů je nutno volit tak, aby slunce v době měření bylo za měřicí základnou (a) ve směru do linie rozmístění odpalovacích ramp.

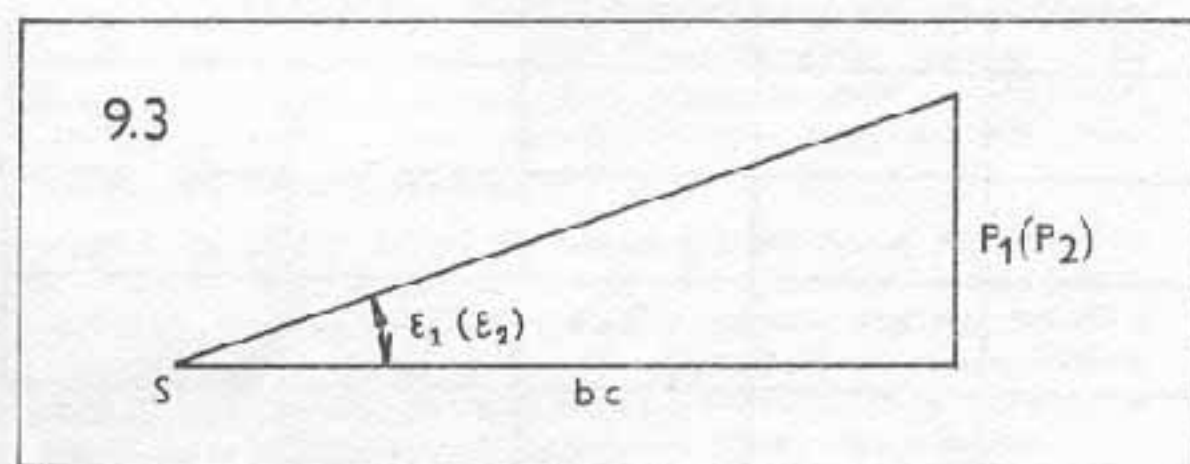
Při přípravě stanovišť optických přístrojů pro měření výšky volíme následující postup:

- vytýčit střed linie odpalovacích ramp (S), vzdálenost mezi jednotlivými odpalovacími rampami minimálně 5 metrů;





- ve středu linie odpalovacích ramp (S) připravit k měření buzolu PAD (teodolit);
- na buzolu nastavit v azimutu  $90^\circ$  ve směru k základně měřících přístrojů (a);
- pomocí pásma, buzoly a kolíků vytýčit vzdálenost ke středu základny (A) od linie odpalovacích ramp (200, 250, 300 metrů);
- zrušit stanoviště buzoly ve středu linie odpalovacích ramp a připravit buzolu k měření ve středu základny měřících přístrojů (A);
- zaměřit buzolu na kolík ve středu linie odpalovacích ramp (S), nastavit na azimutální stupnici  $0^\circ$ , otočit buzolu o  $90^\circ$  do směru měřícího stanoviště přístroje číslo 1;
- vytýčit pomocí pásma, kolíků a buzoly měřící stanoviště číslo 1 ve vzdálenosti 200 metrů pro základnu  $a = 400$  (případně 150 metrů pro  $a = 300$  m, nebo 250 metrů pro  $a = 500$  m) od stanoviště buzoly;
- otočit buzolu o  $180^\circ$  a obdobným způsobem vytýčit měřící stanoviště číslo 2 opět ve vzdálenosti 200 m (případně 150 m, 250 m);
- na vytýčených měřících stanovištích připravit k měření přístroj číslo 1 a přístroj číslo 2;
- provést orientaci měřících přístrojů vzájemným zaměřením. Toto lze provést tím způsobem, že oba přístroje TZK uvdorovíme a zamíříme je vzájemně na sebe tak, aby ve středu nitkového kříže byla zaměřena osa otáčení (krček) protějšího přístroje. Po zamíření nastavíme na azimutální stupnici přístroje číslo 1 0 dílců a na přístroji číslo 2 3000 dílců. Po nastavení těchto hodnot je třeba azimutální stupnice obou přístrojů dobře zajistit;
- připravit buzolu k měření ve středu linie odpalovacích ramp (S) a změřit úhly převýšení (přenižení) měřících přístrojů číslo 1 ( $\varepsilon_1$ ) a číslo 2 ( $\varepsilon_2$ ) proti startovišti,



kde  $P_1$  je převýšení přístroje číslo 1  
 $P_2$  je převýšení přístroje číslo 2.

Převýšení měřících přístrojů proti startovišti ( $P_1, P_2$ ) lze vypočítat ze vztahů:

$$P_1 = b \cdot \operatorname{tg} \varepsilon_1 \quad (\text{m})$$

$$P_2 = c \cdot \operatorname{tg} \varepsilon_2 \quad (\text{m})$$

v tom případě že  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  je zjištěno ve stupních, nebo

$$P_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{1000} \quad (\text{m})$$

$$P_2 = \frac{\varepsilon_2 \cdot c}{1000} \quad (\text{m})$$

je-li  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  zjištěno v dílcích;

- instalovat telefonní (radiové) spojení mezi měřícími stanovišti s výpočetním střediskem, provést kontrolu spojení;
- provést kontrolní zamíření měřících přístrojů na buzolu ve středu linie odpalovacích ramp, vyčíst azimuty a polohové úhly na měřících přístrojích a porovnat je s kontrolním výpočtem úhlů.

### 9.2.3. Měření výšky

Pro zabezpečení větší spolehlivosti zachycení rakety při startu je výhodné (jestliže to dovolí možnosti) instalovat na obou měřících stanovištích po dvou optických přístrojích s obaluhou. Při měření výšky je třeba, aby měřiči sledovali raketu od okamžiku startu až do vrcholu dráhy rakety. Aretační měřících přístrojů v rovině azimutu i polohového úhlu musí umožňovat plynulé sledování letu rakety v obou rovinách a při ukončení měření zabezpečit stabilizaci přístrojů na změřeném azimutu a polohovém úhlu. Před vlastními závody je nutné provést nácviky ve sledování raket s měřiči a vyčítači nejprve na signální rakety (OSP) případně na cvičné starty výškových raket. Nácviky je možno provádět i při soutěži raketa-padáček. Pro kvalitní výkon funkce potřebuje měřič provést 50 - 100 cvičných měření. Vyčítači při těchto nácvicích provádí vyčítání hodnot azimutu a polohového úhlu s přesností 2 dílce pomocí nonia na příslušných stupnicích. Doporučuje se alespoň v 50 % cvičných měření provést kontrolní výpočty výšky.

V průběhu soutěže po změření úhlů vyčítači vyčtou azimut a polohový úhel a jejich hodnoty s pořadovým číslem startu zapíší do poznámkového bloku. V pořadí měřících stanovišť číslo 1 a 2 hlásí telefonisté (radisté) změřené úhly zapisovateli do výpočetního střediska. Zapisovatel ve výpočetním středisku zapíše do formuláře (viz obr. č. 9.4) k pořadovému číslu startu a ke startovnímu číslu závodníka hlášené úhly v dílcích. V případě nulování startu sportovním komisařem přeškrtně zapsané hodnoty a do poznámky zapíše příčinu nulování startu. Vedoucí výpočetního střediska (nebo zapisovatel) musí být v úzkém kontaktu se sportovním komisařem, který povoluje start dalšímu závodníkovi. Dokud vedoucí výpočetního střediska nehlásí připravenost (měřičů výšky a zapisovatele) k dalšímu startu, resmí sportovní komisař další start povolit. Před každým startem je potřebné, aby startér do rozhlasu (hlasitého telefonu) oznámil startovní číslo soutěžícího a číslo rampy, ze které bude následující start proveden. Toto je nutné pro zapsání startovního čísla u zapisovatele a pro zaměření měřičů na příslušnou startovní rampu. Pomocí hlasitého telefonu je nutno zabezpečit, aby počítání startéra před startem bylo reprodukováno na obou měřících stanovištích (vyložit vliv zpoždění zvuku).

Po zápisu naměřených hodnot azimutu a polohového úhlu předává zapisovatel formulář počtářům, kteří provedou výpočet a vyhodnocení výšky.

### 9.2.4. Výpočet a vyhodnocení výšky

Počtáři zahájí svou činnost přepočtem azimutu ( $\beta$ ) u měřícího přístroje číslo 2 podle vztahu:

$$\beta = 3000 - x$$

kde  $x$  je hodnota azimutu (v dílcích) změřená přístrojem číslo 2.

Další postup výpočtu bude záviset na použitém typu elektronického kalkulátoru. Při použití kalkulátorů typu Polytron 6006, MBO alpha 2000, Qualimat a podobných s goniometrickými funkcemi bez možnosti programování se přepočtem naměřené hodnoty úhlů z dílců na stupně a provádějí se jednotlivé kroky výpočtu postupně za sebou, jak je uvedeno na formuláři pro výpočet výšky (obrázek č. 9.5). Doba potřebná pro výpočet jedné výšky je 3 - 4 minuty.

Při použití programovatelných kalkulátorů typu Texas Instruments SR - 52 (SR - 56, TI - 57, TI - 58, TI - 59) nebo Hewlett Packard HP - 35 (HP - 45, HP - 55, HP - 65, HP - 70, HP - 80) a podobných se předem sestaví program výpočtu výšky podle kroků uvedených ve formuláři pro výpočet výšky (obrázek č. 9.5) a po zavedení vstupních hodnot ( $\alpha, \beta, \varphi, \psi$ ) kalkulátor vyhodnotí dosaženou výšku včetně tolerancí za dobu 5 - 10 sekund.



Kategorie: \_\_\_\_\_

Základna: 400m

[illegible]

9.4

Zapisovatel: \_\_\_\_\_



Kategorie:

Základna: 400 m

číslo startu	1	2	3						
startovní číslo									
$\alpha$ (°)	50,16	61,44	52,44						
$\sin \alpha$	0,768	0,878	0,793						
$\beta$ (°)	64,8	71,28	69,48						
$\sin \beta$	0,905	0,947	0,937						
$\varphi$ (°)	49,08	45,24	41,76						
$\operatorname{tg} \varphi$	1,154	1,008	0,893						
$\psi$ (°)	57,6	46,56	45,24						
$\operatorname{tg} \psi$	1,576	1,056	1,008						
$\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$ (°)	65,04	47,28	58,08						
$\sin \gamma$	0,907	0,735	0,849						
$b = \frac{a}{\sin \gamma} \sin \beta$ (m)	399,1	515,3	441,4						
$c = \frac{a}{\sin \gamma} \sin \alpha$ (m)	338,6	477,0	373,6						
$H_1 = b \cdot \operatorname{tg} \varphi$ (m)	460	519	394						
$H_2 = c \cdot \operatorname{tg} \psi$ (m)	533	504	376						
$H = \frac{H_1 + H_2}{2}$ (m)	497	512	385						
tolerance									
poznámka									



Příklad možného programu a postupu výpočtu výšky sestavený pro kalkulátor typu Texas Instruments SR-56 (délka měřicí základny  $a=400\text{m}$ ):

Upozornění: Kalkulátor se uvede do režimu programování pomocí tlačítek \*CP, LRN a po vložení následujícího programu je nutné opět kalkulátor převést do režimu výpočtu tlačítky RST a LRN. Po vložení programu nelze kalkulátor před dalším výpočtem vypínat!

Adresa	Kod	Tablo	Adresa	Kod	Tablo	Adresa	Kod	Tablo
00	41	R/S	33	57	* SUBR	66	33	STO
01	57	* SUBR	34	08	8	67	09	9
02	08	8	35	09	9	68	41	R/S
03	09	9	36	25	TAN	69	52	(
04	33	STO	37	33	STO	70	34	RCL
05	05	5	38	06	6	71	04	4
06	23	SIN	39	41	R/S	72	64	x
07	33	STO	40	57	* SUBR	73	34	RCL
08	04	4	41	08	8	74	08	8
09	41	R/S	42	09	9	75	64	x
10	57	* SUBR	43	25	TAN	76	34	RCL
11	08	8	44	33	STO	77	07	7
12	09	9	45	07	7	78	53	)
13	33	STO	46	52	(	79	52	(
14	03	3	47	04	4	80	41	R/S
15	23	SIN	48	00	0	81	35	SUM
16	33	STO	49	00	0	82	09	9
17	02	2	50	54	-	83	34	RCL
18	52	(	51	34	RCL	84	09	9
19	01	1	52	01	1	85	54	-
20	08	8	53	53	)	86	02	2
21	00	0	54	33	STO	87	53	)
22	74	-	55	08	8	88	41	R/S
23	34	RCL	56	52	(	89	52	(
24	05	5	57	34	RCL	90	33	STO
25	74	-	58	02	2	91	00	0
26	34	RCL	59	64	x	92	64	x
27	03	3	60	34	RCL	93	92	.
28	53	)	61	08	8	94	00	0
29	23	SIN	62	64	x	95	06	6
30	33	STO	63	34	RCL	96	53	)
31	01	1	64	06	6	97	58	* RTN
32	41	R/S	65	53	)			

Vlastní výpočet výšky se provádí následujícím způsobem:

Tablo:

RST

Zavedení hodnoty  $\alpha$  (v dílcích)

R/S

Zavedení hodnoty  $\beta$  (v dílcích)

R/S

Zavedení hodnoty  $\varphi$  (v dílcích)

R/S

Zavedení hodnoty  $\psi$  (v dílcích)

R/S

R/S

R/S

Konec výpočtu.

. Displej:

$\alpha$

$\sin \alpha$

$\beta$

$\sin \gamma$

$\varphi$

$\tan \varphi$

$\psi$

$H_1$

$H_2$

$H$

Hodnoty uložené v paměťových registrech:

0: 0,06 2:  $\sin \beta$  4:  $\sin \alpha$  6:  $\tan \varphi$  8:  $\frac{a}{\sin \gamma}$   
 1:  $\sin \gamma$  3:  $\beta$  5:  $\alpha$  7:  $\tan \psi$  9:  $H_1 + H_2$

Jestliže je kalkulátor naprogramován, je potřebné provést 2-3 kontrolní výpočty pro zjištění správného vyladění programu. Příklad kontrolních výpočtů jsou uvedeny ve formulářích (obrázek č. 9.4. a 9.5).

Vyhodnocené výsledky výšek se v průběhu soutěže ihned předávají z výpočetního střediska zapisovateli a výsledkové tabule, který dosažené výkony zápisem na tabuli zveřejňuje (jde prozatím o neoficiální výsledky). Po ukončení soutěže se doporučuje provést přepočít

výkonů soutěžících, umístěných na 1-5 místě a přepočít všech výkonů, které byly vyhodnoceny mimo povolenou toleranci.

Dovoluje-li to situace, je vhodné na měřicích stanovištích umístit po dvou optických přístrojích a obsluhách. Činnost na těchto zdvojených stanovištích lze organizovat tak, že na každém stanovišti je určen hlavní měřič (lepší, kvalitnější), jehož vyhodnocené údaje jsou v průběhu soutěže hlášeny do výpočetního střediska. V případě, že hlavní měřič nezachytí start rakety, je naděje, že zachycení startu bylo provedeno druhým přístrojem na toméž stanovišti, což podstatně zvyšuje spolehlivost zachycení rakety a změření výšky. Je-li výkon soutěžícího vyhodnocen mimo toleranci, lze zpětným dotazem na měřicí stanoviště a předáním údajů od druhého přístroje v řadě případů vyhodnotit změřenou výšku v povolené toleranci. Zkušenosti ukazují, že podíl měřičů na nezachycených startech a chybně změřených výkonech se v tomto případě snižuje na 0,76%.

Po ukončení soutěže provede vedoucí výpočetního střediska ve spolupráci s počtáři kontrolu dosažených výkonů, stanoví pořadí v soutěži a předloží výsledkovou listinu ke schválení sportovnímu komisaři.

#### 9.2.5. Doporučení soutěžícím

Pro kvalitní průběh výškových soutěží je potřebné, aby soutěžící dodržovali následující zásady:

- zabezpečit pokud možno koimý start a lot rakety;
- výhodné zharvení povrchu rakety; zkušenosti ukazují, že nejlépe viditelná barva je červená (případně oranžová);
- při sledování startu rakety zabezpečit, aby soutěžící a diváci nestáli v optické ose měřicích přístrojů, které jsou zaměřeny na odpalovací rampu, z níž bude raketa startovat;
- důsledně dbát pokynů sportovního komisaře a startéra (povolení startu);
- zabezpečit nerušenou práci měřičů, zapisovatele a počtářů;
- dotazy, protesty a vysvětlování řešit s funkcionáři výpočetního střediska až po skončení jednotlivých kol soutěže;
- hlásit před startem sportovnímu komisaři a zapisovateli, že bude proveden start s víceetapovou raketou (kolik stupňů);
- hlásit před startem motory VV a Delta;
- volit příslušnou taktiku při různých povětrnostních podmínkách (po dešti, vítr, slunce, zamračeno) především z hlediska možné viditelnosti modelu.

Dokonalou přípravou a provedením výškových soutěží, ukázněností soutěžících i funkcionářů lze zabezpečit objektivní a kvalitní průběh těchto soutěží, podstatně zkrátit čas obvykle přesahující únosnou míru a vyhodnotit dosažené výkony s poměrně vysokou přesností.



# 10. PLÁNKY MODELŮ RAKET TŘÍDY S1, S2, S3, S6

(k přílohám za záložkou)

V příloze tohoto 1. čísla jsou plánky modelů raket, jejichž podrobný postup stavby byl popsán v oddíle 5. Proto je v popisech stručně vysááno jen o použitém materiálu, zvláštnostech u jednotlivých tříd, případně o použitých motorech. Hlavice a stabilizátory jsou v měřítku 1:1, celkové pohledy jsou zmenšeny 1:1,5 s potřebnými údaji.

Plánky modelů raket jsou od předních čs. modelářů, se kterými dosáhli na vrcholných soutěžích význačných umístění nebo překonání rekordů.

## 10.1. Model KIRKE, třída S1A

Jednostupňový model, jehož trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsa a stabilizátory z balsy tloušťky 0,8 mm polepené modelspanem. V trupu je záložka proti posunutí motoru. Povrch trupu a hlavice je tmelen, nabarven a vyleštěn. Motor MMB 2,5-10. Model překonal světový rekord 602 m.

## 10.2. Model PH-1, třída S1B

Dvoustupňový model jednoduché konstrukce, jehož trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsa a stabilizátory z balsy tloušťky 1 mm na obou stupních. Povrch trupu a hlavice je tmelen, nabarven a vyleštěn. V prvním stupni je použit motor MMB 2,5-0, v druhém MMB 2,5-10, průšlehová trubice k zapálení 2. stupně není nutné použít pro krátkou vzdálenost mezi motory, stačí použít zážehové slože M2.

## 10.3. Model HM-1, třída S1C

Jednostupňový model, jehož trup je ze 4 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsa a stabilizátory z překližky tloušťka 0,8 mm. Celý povrch rakety je tmelen, barven a vyleštěn. Motor lze použít podle velikosti padáku FWD 13-10.

## 10.4. Model GAMERA, třída S1D

Dvoustupňový model rakety je řešen neobvyklým způsobem u klasických modelů. Toto provedení se využívá u skutečných raket z důvodů popsaných v kapitole 8. První stupeň je složen ze základní balsa redukce, ve které jsou přilepeny boostery navinuté z 5 vrstev papírové lepicí pásky. V jednom boosteru je návratné zařízení a ve druhém elektrozařízení k odpálení 2. stupně se třisekundovým zpožděním po startu. V základní redukci je umístěn šlehový palník a mikrovedení od elektrozařízení z boosteru.

Druhý stupeň (letový) je běžné konstrukce, kde trup je z 5-6 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice je

balsová se schránkou pro olovo (asi 80 g) pro dosažení těžiště. Stabilizátory jsou balsa tl. 3 mm.

Nemáme-li možnost zhotovit elektrozařízení na postupné odpálení stupňů, využijeme poznatků z kapitoly 6. o kombinaci motorů.

## 10.5. Model HM-2, třída S2A

Stavba výškové rakety se zátěží je poněkud komplikovanější a proto si postup prací zpřesníme a rozšíříme. V místě pod hlavici musíme vytvořit prostor pro uložení zátěže (9) o rozměru  $\phi 19,1$  a výšky 13 mm.

Běžným způsobem vyrobíme nosnou trubku těla rakety (3) a pouzdro komory pro zátěž (2). Obě části vyrábíme najednou jako trubku o celkové délce 152 mm na trnu o  $\phi 19,3$ , kterou rozřízneme na dvě části - 32 a 120 mm. Dále zhotovíme trubku pro redukci (5) o vnitřním  $\phi 17,7$  a délce 80 mm. Pokud máme ještě trubku na trnu, stočíme do válce pruh měkké balsy o tl. asi 1,5 mm a šířce 35 mm a nalepíme na spodní konec trubky. Po vyschnutí vybrousíme na balse kužel (4) o výšce 30 mm a průměrech 20/17,8 tak, aby plynule navazoval na průměr základního trupu rakety (3). Na opačném konci redukce vybrousíme z balsy nebo navineme z papíru asi 4 mm široké středící mezikruží (12). Totéž provedeme u většího průměru kužele. Přesné dolícování provedeme dle vnitřního průměru trubky těla rakety. Pod horní mezikruží připevníme ocelové lanko (14) na uchycení hlavice a návratného zařízení, které vyvedeme do trupu. Redukční trubku s kuzelem vlepieme centricky do těla rakety.

Stabilizátory (6) jsou z překližky tl. 0,8 mm, vybroušeny a prolakovány. Balsovou hlavici (1) vlepieme do trubky (2) o délce 32 mm zatmelíme a začistíme tak, aby s pouzdrům na zátěž tvořila jeden celek.

Dále si zhotovíme z balsy váleček (10) o délce 25 mm, jehož  $\phi$  dolícujeme na vnitřní  $\phi$  trupu a pouzdra pro uložení zátěže. Do válečku upevníme očko (7) na spojení hlavice s nosným trupem. Upevnění musí být provedeno dokonale, aby nedošlo k vytržení při výmetu hlavice se zátěží z trupu. Váleček zajišťujeme v pouzdře se zátěží (2) jedním nebo dvěma špendlíky (11), které propíchneme přes pouzdro a váleček. Model je výrazně nabarven a vyleštěn. Používáme motor RM 10-1,2-7 nebo FWC 13-6.

## 10.6. Model GIRARA, třída S2B

Jednostupňový model je přizpůsoben ke startu se dvěma zátěžemi dle FAI, které jsou i s návratným zařízením v pouzdře. Trup je ze 6 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsa a stabilizátory z tvrdé balsy tl. 2 mm. Celý model je tmelen, barven a vyleštěn. Použijeme motor FWE 20-8. S modelem bylo dosaženo výšky 886 m.

## 10.7. Model RELA, třída S2C

Dvoustupňový model, který je přizpůsoben k využití motorů maximálního výkonu pro tuto třídu. Trup oboustupňů je ze 6 vrstev papírové lepicí pásky, tmelen, barven a vyleštěn. Motorové lože pro 1. i 2. stupeň je ukončeno záložkou. Druhý stupeň musí být zasunut do prvního stupně suvně, ale ne volně. Spojení mezi motory je krátkou průšlehovou trubicí, kolem které může být uloženo návratné zařízení 1. stupně, vytlačované pomocí pružiny po oddělení stupňů.

Stabilizátory jsou z tvrdé balsy tl. 2,5 mm polepené modelspanem. Balsová hlavice je upravena tak, že na její spodní válcovou část přilepíme lepidlem Epoxy papírovou trubku o vnitřním průměru 20 mm, do které jsou uloženy 4 zátěže. Balsovou zátkou uzavřeme prostor zátěží, zajistíme špendlíkem a celé přelepíme kvalitní izolací. Za balsovou zátku rovněž uvazujeme spojení s návratným zařízením a trupem 2. stupně. Všechny spoje je nutné



provést lepidlem Epoxy. Pro start použijeme motor FWE 20 - 0, ve stupni 2. motor FWE 20 - 8. Start provádíme z rampy alespoň 2 m dlouhé.

#### 10.8. Model PH - 2, třída S3A

Jednostupňový model, jehož trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky se zarážkou nad motorem a zarážkou proti vypadnutí motoru z ocelového drátu  $\phi$  0,4 mm, který je přilepen ve spoji u stabilizátoru, 15 mm není přilepeno pro možnost odehnutí při vsouvání motoru. Hlavice je balsaová a stabilizátory z balsy tl. 0,8 mm polepené modelspanem. Použijeme motor MMA 2,5 - 8. Model získal 2 x titul přeborníka ČSR.

#### 10.9. Model PH - 3, třída S3B

Jednostupňový model je konstrukčně jednoduchý se zarážkami pro motor a s motorovým ložem. Větší průměr trupu umožňuje používat padáků z banánové fólie a větších průměrů. Trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsaová a stabilizátory z balsy tl. 0,8 mm polepené modelspanem. Trup s hlavicí jsou tmeleny, barveny a leštěny. Použijeme motor MME 2,5 - 6 (10).

#### 10.10. Model HM - 3, třída S3C

Jednostupňový model je konstrukčně jednoduchý s motorovým ložem. Trup je ze 4 vrstev papírové lepicí pásky o průměru 22 mm, který umožňuje používat volných padáků. Hlavice je balsaová, stabilizátory z balsy tl. 1,5 mm, polepené modelspanem. Trup s hlavicí jsou tmeleny, barveny a leštěny. Model lze použít i pro třídy S3A a S3B s použitím motorů RM. Pro tuto třídu použijeme motory RM 10 - 1,2 - 7 nebo FWC 13 - 9.

#### 10.11. Model XENA, třída S3D

Jednostupňový model pro použití padáků větších průměrů, jehož trup je ze 4 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice je balsaová stejně jako stabilizátory, které mají tl. 1,5 mm a jsou polepeny modelspanem. Hlavice a trup jsou tmeleny, barveny a leštěny. Motor je možné použít FWD 13 - 7, případně FWD 13 - 10 podle váhy padáku.

#### 10.12. Model PH - 4, třída S6A

Jednostupňový model, konstrukčně jednoduchý, jehož trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky, hlavice balsaová a stabilizátory z balsy tl. 0,8 mm polepené modelspanem. Trup s hlavicí jsou tmeleny, barveny a leštěny. Použijeme-li motor MMA 2,5 - 8 a streamer velikosti 100 x 1000 mm dosáhne maximálního výkonu. Model obsadil 8. místo na MS v BLR.

#### 10.13. Model PH - 5, třída S6A

Jednostupňový model, jehož trup je ze 3 vrstev papírové lepicí pásky s přepážkou v trupu a pojistnou zarážkou z drátu o  $\phi$  0,4 mm na konci trupu, přilepené ho ve spoji stabilizátoru. S balsaovou hlavicí je tmelen, barven a leštěn. Balsaové stabilizátory tl. 0,8 mm jsou polepeny modelspanem. Při použití motorů MMA 2,5 - 8 dosahuje max. výkonů. Na přeboru ČSR obsadil 2. místo.

#### 10.14. Model BELA, třída S6B

Jednostupňový model, konstrukčně jednoduchý s trupem ze 3 vrstev papírové lepicí pásky, který je s balsaovou hlavicí tmelen, barven a vyleštěn. Balsaové stabilizátory tl. 0,8 mm jsou zbroušeny do kapkovitého profilu a potaženy modelspanem. Streamer je z papíru Skiolux rozměru 120 x 1250 mm. Hmotnost prázdného modelu je 4 g. Zvláštností je zajištění motoru proti vypadnutí.

Do dvou koutů sousedních stabilizátorů je zalepen ocelový drát  $\phi$  0,4 mm ve tvaru U, který se při vkládání motoru odehne. Při použití motoru MMB 2,5 - 10 dosahuje maximálních výkonů.

#### 10.15. Model KZ - 6C, třída S6C

Jednostupňový model běžné konstrukce. Trup je ze 4 vrstev papírové lepicí pásky a hlavice balsaová. Oba díly jsou barveny, tmeleny a leštěny. Balsaové stabilizátory tl. 1,8 mm jsou lakovány bezbarvým lakem a leštěny. Váha prázdného modelu je 7 g. Je možné použít motor RM 10 - 1,2 - 7 nebo FWC 13 - 9.

#### 10.16. Model JT - 6D, třída S6D

Jednostupňový model, jehož zvláštností je konstrukce trupu, který je laminovaný na trnu o  $\phi$  17,6 mm ze 3 vrstev skelné tkaniny č. 30 a sovětské pryskyřice K153 (možno použít i Epoxy 1200), vybroušen, vytmelen, nabarven a vyleštěn. Hlavice je balsaová, stejně jako stabilizátory, které jsou polepeny modelspanem. Hmotnost prázdného modelu je 5,5 g a streameru Universal o rozměru 130 x 1350 mm 7 g. Při použití motoru FWD 13 - 10 lze dosáhnout maximálního výkonu.

●●●●●

#### Seznam použité literatury

Otakar Šaffek: Raketové modelářství  
Naše vojsko  
Praha 1975

Pik, Ing. Lubomír Jurek: Odpor modelu rakety  
Ústřední dům Československé lidové armády  
Praha 1981

Pik, Ing. Lubomír Jurek: Stabilita modelu rakety  
Ústřední dům Československé lidové armády  
Praha 1980

F. Polanský: Vnitřní balistika děl a raket  
Technicko-vědecké vydavatelství  
Praha 1951

V. J. Fedosjev, G. B. Sinjarev: Raketová technika  
Naše vojsko  
Praha 1962

V. D. Kurov, J. M. Dolžanskij: Osnovy projektirovanija porochovyh raketnyh snarjadov  
OBORONGIZ  
Moskva 1961

Ja. M. Šapiro, G. Ju. Mazing, N. E. Prudnikov: Osnovy projektirovanija raket na tvjordoje toplivo  
Voenizdatelstvo min. oborony  
Moskva 1968

Ja. M. Šapiro: Teorija raketnogo dvigatelja na tvjordoje toplivo  
Voenizdatelstvo min. oborony  
Moskva 1966

T. M. Melkumov: Raketnyje dvigateli  
Mašinostroj  
Moskva 1976

M. Summerfield: Issledovanije raketnyh dvigatelej na tvjordoje toplivo (překlad)  
Izdatelstvo inostrannoj literatury  
Moskva 1963

A. J. Grigoriev: Tvjordije raketnyje topliva  
Chimija  
Moskva 1969

Žurnál - Fizika gorenija i vzryva  
Izdatelstvo Nauka  
Novosibirsk

Soutěžní a stavební pravidla pro raketové modeláře  
Ústřední výbor Svazarmu  
Praha 1978



Časopis - Modelář 4,8/1971, 4/1973, 7/1975,  
2/1977, 3, 4, 5/1983  
Naše vojsko  
Praha

●●●●●

Tato pomůcka je prací kolektivu vedeného mistrem sportu  
Karllem Jeřábekem.

Do tohoto čísla přispěly kluby:

ZO Svazarmu -

„Severka“ - Ústí nad Labem; m. s. Karel Jeřábek  
Jan Čerepjuk  
Ing. Ivan Ivančo

AMK - Liptovský Mikuláš; Ing. Jan Matxner

VVTŠ - ČSSP - Liptovský Mikuláš; Ing. Lubomír Jurek

RMK - Myjava; Karol Vesperín

RMK - Adamov; Ing. Miroslav Horáček

RMK - Dubnica nad Váhom; Ing. Milan Jelínek

RMK - Plzeň-Bory; Pavel Holub

RMK - Praha 7; Jiří Táborský

Model-Klub - Krupka; Zdeněk Kolář



## OBSAH

1. Na prvním místě bezpečnost	4	6. Raketové motory	21
1.1. Bezpečnostní desatero	4	6.1. Základní fyzikální vztahy	21
2. Můžeme s modely raket soutěžit?	4	6.2. Konstrukce raketových motorů	22
2.1. Soutěže masového charakteru	4	6.3. Typy raketomodelářských motorků, označení, technické údaje	23
2.1.1. Náborové soutěže	4	6.4. Praktické používání raketomodelářských motorků	27
2.1.2. Žákovské soutěže	4	6.4.1. Iniciace motorků	28
2.1.3. Propagační soutěže	5	6.4.2. Výběr motorků pro soutěžní létání	28
2.2. Soutěže výkonnostního a vrcholového charakteru	5	6.4.3. Zásady pro výběr motorků pro jednotlivé soutěže	28
2.2.1. Mistrovské soutěže	5	6.5. Raketové motory typu S	29
2.2.2. Nemistrovské soutěže	5	7. Stabilita modelu rakety	29
2.2.3. Mezinárodní soutěže	5	7.1. Stabilita rakety za letu	29
3. Přehled soutěžních tříd a kategorií	5	7.2. Zabezpečení statické stability	32
3.1. Výškové soutěže = třída S1	5	7.2.1. Typické tvary stabilizátorů a jejich vlastnosti	32
3.2. Soutěž se zátěží = třída S2	6	7.3. Praktický příklad k řešení stability letu modelu rakety	33
3.3. Soutěž v trvání letu na padáku = třída S3	6	7.3.1. Analýza hmotového těžiště rakety	34
3.4. Soutěž raketoplánů v trvání letu = třída S4	6	7.3.2. Analýza těžiště aerodynamických sil rakety	34
3.5. Výšková soutěž maket = třída S5	6	8. Odpor modelu rakety	44
3.6. Soutěž v trvání letu na streameru = třída S6	6	8.1. Co ovlivňuje odpor modelu rakety	44
3.7. Soutěž maket = třída S7	6	8.1.1. Tlakový odpor	44
3.8. Soutěž v trvání letu raketových kluzáků = třída S8	7	8.1.2. Třecí odpor	44
3.9. Soutěž maket v trvání letu (třída S5 časová) národní pravidla	7	8.1.3. Viskozita vzduchu	45
3.10. Volně létající modely poháněné raketovým motorem typu S – národní kategorie	7	8.1.4. Turbulentní a laminární proudění	45
4. Materiál a nářadí	7	8.2. Úvod do analýzy odporu raket	47
4.1. Základní materiály	7	8.2.1. Zdroje odporu	47
4.2. Pomocný materiál a nářadí	8	8.2.2. Interferenční odpor	47
5. Stavba modelů raket	8	8.2.3. Indukovaný odpor	47
5.1. Trup	9	8.3. Odpor jednotlivých částí raketového motoru	49
5.1.1. Navinutí trubky	9	8.3.1. Odpor hlavičky rakety	49
5.1.2. Tmelení	10	8.3.2. Odpor trupu rakety	50
5.1.3. Barvení	10	8.3.3. Odpor ocasní části rakety	52
5.1.4. Leštění	10	8.3.4. Odpor modelu rakety při nulovém náběhu	52
5.2. Stabilizátory	10	8.3.5. Odpor modelu rakety při úhlu náběhu	55
5.2.1. Zhotovení stabilizátorů	10	8.3.6. Odpor stabilizátorů modelu rakety	55
5.2.2. Povrchová úprava stabilizátorů	11	8.3.7. Odpor startovacího vodička	57
5.2.3. Přilepení stabilizátorů	11	8.3.8. Analýzy odporu raketového modelu při nulovém úhlu náběhu	61
5.3. Hlavičky	12	8.4. Možnosti snížení odporu modelu rakety	62
5.3.1. Vyborušení hlavičky na vrtačce	12	8.4.1. Zpracování modelu rakety	62
5.3.2. Vysoustružení hlavičky na soustruhu	13	8.4.2. Úprava ocasní části modelu rakety	68
5.3.3. Kaširování hlavičky	13	8.4.3. Interferenční odpor	70
5.3.4. Odlévání hlavičky	13	8.4.4. Pravidla pro snížení odporu modelu rakety	71
5.4. Návrhové zařízení	13	9. Měření výšek	71
5.4.1. Streamer (brzdící proužek)	13	9.1. Požadavky na měření výšek	71
5.4.2. Padák	14	9.2. Zkušenosti z měření výšek	72
5.5. Vodičko	15	9.2.1. Materiální podmínky	72
5.6. Motorové lože – redukce	16	9.2.2. Příprava stanovišť pro měření výšky	72
5.7. Sestavení modelu	16	9.2.3. Měření výšky	73
5.8. Startovací zařízení	16	9.2.4. Výpočet a hodnocení výšky	73
5.8.1. Tyčové rampy	16	9.2.5. Doporučení soutěžícím	76
5.8.2. Dotykové rampy	17	10. Plánky modelů raket	78
5.9. Odpalovací zařízení	18	Seznam použité literatury	



**modela**

**PODNIK  
ÚV  
SVAZARMU**



**stavebnice modelů  
letadel, lodí, automobilů**

**modelářské motory**

**RC aparatury pro dálkové  
řízení modelů**

**modelářské příslušenství**

**150 00 Praha 5 - Smíchov, Holečkova 9**

29