



KONŠTRUKCIA, STAVBA A MECHANIKA LETU UPŮTANÝCH MODELOV

II – aktualizácia 1

Ján Škrabálek

Bratislava

2007

2.2 Pohonná sústava

Pohonná sústava upútaneého modelu lietadla je súhrn všetkých zariadení, ktoré sú nutné k vytvoreniu potrebnej ťahovej sily, umožňujúcej lietanie modelu lietadla.

Pohonná sústava sa skladá z pohonnej jednotky a palivovej sústavy.

2.2.1 Pohonná jednotka

Pohonná jednotka slúži na premenu tepelnej energie, vznikajúcej pri oxidácii (spaľovaní) paliva, na potrebnú ťahovú silu. Pohonná jednotka upútaneého modelu lietadla sa skladá z motora a vrtule, upevnenej na hriadeľ motora.

2.2.1.1 Motor

V motore (spaľovacom) sa tepelná energia, spôsobujúca expanziu spalín, premieňa na mechanickú energiu, ktorú motor pomocou hriadeľa odovzdáva vrtuli vo forme krútiaceho momentu.

2.2.1.1.1 Hlavné konštrukčné parametre a charakteristiky motorov

Najdôležitejším konštrukčným parametrom piestového spaľovacieho modelárskeho motora je zdvihový objem. Je to objem pracovného priestoru, zodpovedajúci objemu valca (valcov) ohraničeného dolnou a hornou polohou piesta (piestov). Maximálny zdvihový objem motora (motorov) je pre jednotlivé kategórie upútaných modelov stanovený v súťažných pravidlách.

Najviac používanými sú motora so zdvihovým objemom $2,5 \text{ cm}^3$ používané u cvičných modelov i modelov kategórií **F2A**, **F2C**, **F2D** a **ŠUM**. U kat. **F2B** a **F4B** sú najviac používané motory so zdvihovým objemom $5 - 10 \text{ cm}^3$.

Motory používané u upútaných modelov lietadiel môžeme ďalej rozdeliť podľa ich jednotlivých konštrukčných znakov – charakteristík.

- ➔ **Podľa pracovného cyklu** sa motory delia na dvojtaktné a štvortaktné. Najpoužívanjšie a v súčasnosti najvýkonnejšie sú dvojtaktné motory. Štvortaktné motory sa používajú zriedkavejšie pre ich menšiu výkonnosť, väčšiu zložitosť a vyššiu cenu. Vyznačujú sa veľmi tichým chodom a veľkým krútiacim momentom.
- ➔ **Podľa spôsobu chladenia** sa motory delia na vzduchom chladené a vodou chladené. U upútaných modelov sa používajú výhradne vzduchom chladené motory.
- ➔ **Podľa počtu pracovných valcov** sa motory delia na jednovalcové a viacvalcové. Prevažne sa používajú motory jednovalcové. Viacvalcové sa používajú iba zriedkavo u modelov kat. **F4B**.
- ➔ **Podľa spôsobu spalovania pohonnej zmesi** sa motory delia na motory detonačné a motory so žhaviacou sviečkou. Detonačné sa používajú iba do zdvihového objemu $2,5 \text{ cm}^3$, pre pohon cvičných modelov a modelov kat. **F2C**, **F2D** a **ŠUM**. Motory so žhaviacou sviečkou sú u upútaných modelov najrozšírenejšie a používajú sa prakticky u všetkých kategórií, okrem **F2C**. Motory s iskriacou sviečkou sa u upútaných modelov prakticky nepoužívajú.
- ➔ **Podľa spôsobu nasávania pohonnej zmesi** sa motory delia na motory s predným nasávaním (dutým kľukovým hriadeľom) a motory so zadným nasávaním (rotačným rozdeľovačom alebo vibračnou membránou). U upútaných modelov sa najviac používajú motory s predným nasávaním, pre ich jednoduchosť a malú stavebnú dĺžku. Motory so zadným nasávaním sa používajú zriedkavejšie.

Pre rozdelenie motorov existuje veľa ďalších hľadísk, napr. spôsob vyplachovania spaľovacieho priestoru, spôsob uloženia kľukového hriadeľa, spôsob tesnenia piesta vo valci, materiály používané pre dvojicu piest – valec, atď. Tieto hľadiská však niesú pre základné rozdelenie motorov podstatné, čo však neznamená, že niesú pre zabezpečenie potrebnej výkonnosti a spoľahlivosti dôležité.

2.2.1.1.2 Konštrukcia motorov

Detonačné motory

Na obr.2.32 je trojpohľadový výkres dvojtaktného, vzduchom chladeného, jednovalcového detonačného motora, s predným nasávaním, so zdvihovým objemom $2,5 \text{ cm}^3$. Motor s označením MVVS 2,5DF bude slúžiť ako reprezentant pre popis konštrukcie malých detonačných motorov.

Obr. 2.32a

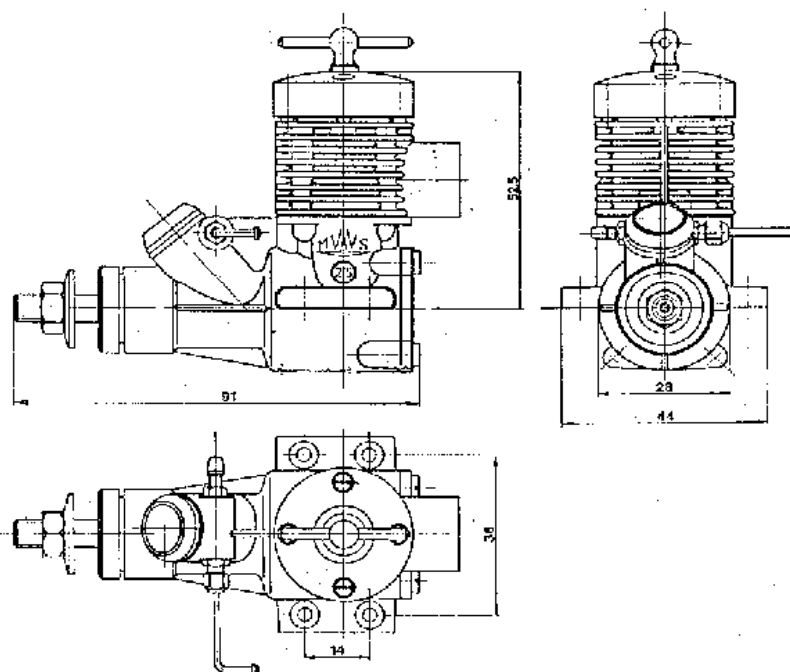
Obr. 2.32a

Modela

PODNIK ÚV SVAZARMU ČSSR

MVVS

MODELÁŘSKÝ MOTOR MVVS 2,5 DF



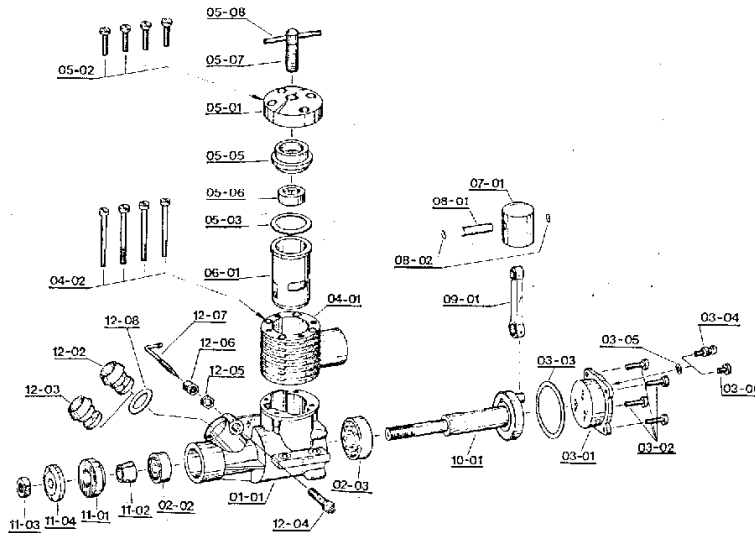
TECHNICKÁ DATA

vrtání	mm	15
zdvih	mm	14
zdvihový objem	cm ³	2,47
nejvyšší výkon	kW (x)	0,478 (0,65)
otáč.	ot/min.	24.000
hmotnost	g	185

Obr.2.32b

Obr.2.32b

MVVS 2,5 DF kat.č. 3022



Náhradní díly včetně standardního příslušenství.

Motorová pažba	01-01	Vložka válce	08-01
Ložisko přední	02-02	Plát	07-01
Ložisko zadní	02-03	Pístní čep	08-01
Zadní víko	03-01	Pojistka píst. čepu	08-02
Sada šr. zad. víka	03-02	Ojnice	09-01
Těsnění zad. víka	03-03	Křukový hřídel	10-01
Tlaková tryska	03-04	Unášec vrtule	11-01
Těsnění podložka	03-05	Kužel unášče	11-02
Zastepovací šroub	03-06	Malice vrtule	11-03
Válec	04-01	Podložka vrtule	11-04
Sada šroubů válce	04-02	Difuzér sací	12-02
Hlava válce	05-01	Difuzér tlakový	12-03
Sada šroubů hlavy	05-02	Trysky	12-04
Těsnění hlavy	05-03	Malice trysky	12-05
Podpora protipístu	05-05	Malice jehly	12-06
Protipíst	05-06	Palivová jehla	12-07
Štaveční šr. protipístu	05-07	Těsnící kroužek	12-08
Kolík stavěcího šr.	05-08		

Díly označené svorkou se dodávají pouze spoletně.

Speciální příslušenství:

RC karburátor kat.č. 3213
Tlumič výfuku kat.č. 3242

Motor je dodáván včetně standardního příslušenství.

Náhradní díly prodává výhradně patřičná prodejna Modely "MODELLAR", Praha 6, Sokolovská 93 a to i na dobírku. V objednávce je třeba uvést typ motoru / číslo náhradního dílu.

Telo motoru (1) je společným odliatkom *klukovej skrine* (spodná časť tela) a *valca* (vrchná časť tela). Je zhotovené z ľahkej hliníkovej zliatiny, zväčša ako odliatok do kovovej formy (kokily).

Na spodnej časti motoru sú robustné náliatky – *pätky*, slúžiace k upevneniu motoru na motorové nosníky modelu. Predná časť klukovej skrine je zosilnená náliatkami a na vrchnej časti tela – valci, sú chladiace rebra, ktoré bývajú u niektorých typov menších motorov súčasťou *vložky valca*.

Telo motoru tvorí konštrukčnú základňu pre upevnenie všetkých ostatných častí motoru. Vlastný *pracovný priestor motoru je tvorený vložkou valca, piestom, protipiestom a hlavou*.

Hlava motoru (2) je zhotovená z ľahkej hliníkovej zliatiny. Závitová diera v osi hlavy slúži pre naskrutkovanie ocelevej *kompresnej páky* (3), zabezpečujúcej nastavenie polohy protipiestu vo vložke valca. Pre upevnenie hlavy motoru k vrchnej časti tela – valcu, sa používajú *ocelové skrutky* (4). U niektorých typov malých motorov sa hlava spája s valcom priamo závitom.

Protipiest (5), zhotovený z ocele, slúži na reguláciu priebehu spaľovania zmesi v pracovnom priestore motoru, pomocou zmeny objemu kompresného priestoru. Protipiest uzatvára pracovný priestor a musí ho dokonale utesňovať.

Vložka valca (6) tvorí pracovný priestor motoru a spolu s piestom je najdôležitejšou súčasťou motoru. Výber materiálu vložky závisí od materiálu piesta i spôsobu ich vzájomného utesnenia, povrchovej úpravy funkčných plôch a tesniacich elementoch. U detonačných motorov sa vložka vyhotovuje najčastejšie z ocele. Vnútorý funkčný povrch "*vývrt*" býva jemne brúsený a honovaný. Vonkajší funkčný povrch býva jemne brúsený a musí zabezpečovať dobrý odvod tepla z pracovného priestoru do chladiacich rebier valca. Vo vložke valca sú vyhotovené otvory, tzv. "*prefukové kanály*", zabezpečujúce prechod pohonnej zmesi z priestoru klukovej skrine do pracovného priestoru nad piestom a odvod spalín z pracovného priestoru, tzv. "*výfukové kanály*". Ich tvar, rozmery a umiestnenie sú najdôležitejšími parametrami pre zabezpečenie spoľahlivého chodu a vysokého výkonu motoru. Vzájomná uhlová poloha funkčných hrán prefukových a výfukových kanálov je tzv. "*časovanie motoru*".

Piest (7) tvorí "pohyblivé dno" pracovného priestoru. Prenáša sily vznikajúce expanziou horiacej pohonnej zmesi na klukový mechanizmus motoru. U detonačných motorov je najčastejšie používaným materiálom na výrobu piesta oceľ. Funkčný povrch piesta je pre zabezpečenie dobrých klzných a tesniacich vlastností brúsený a zalapovaný spolu s vložkou valca. Vrchná hrana dna piesta zabezpečuje otváranie a zatváranie prefukových a výfukových kanálov v pracovnom priestore. Výrezy

v plášti piesta zabezpečujú otváranie a zatváranie prefukových kanálov v priestore kľukovej skrine. Tým sa vlastne zabezpečuje vhodné „časovanie motora“.

Transformáciu priamočiareho vratného pohybu piesta na rotačný pohyb zabezpečuje kľukový mechanizmus, pozostávajúci z kľukového hriadeľa a ojnice.

Ojnica (8), vyhotovená zväčša z hliníkovej zliatiny, je na jednom konci otočne spojená s piestom pomocou brúseného a lapovaného oceľového **piestneho čapu** (9) a na druhom konci otočne spojená s kľukovým hriadeľom pomocou kľukového čapu. Diery pre čapy bývajú vzpúzdrené mosadznými púzdrami, zabezpečujúcimi dobré klzné vlastnosti a dlhú životnosť uloženia.

Kľukový hriadeľ (10) je otočne uložený v kľukovej skrini pomocou guľíčkových ložísk (11). V niektorých prípadoch je toto uloženie iba klzné. Býva vyhotovený zväčša z chemicko-tepelne spracovanej ocele, zabezpečujúcej potrebné mechanické vlastnosti. Všetky dôležité funkčné plochy sú jemne brúsené. Kľukový hriadeľ je v prednej časti opatrený závitom slúžiacim pre upevnenie vrtule pomocou **matice** (12), **podložky** (13), **unášača vrtule** (14) a **pružnej kuželovej vložky** (15), zabezpečujúcej prenos síl a momentov z kľuk.hriadeľa na unášač vrtule. U motorov s predným saním je kľuk.hriadeľ dutý a súčasne slúži ako **rotačný rozdeľovač**, ovládajúci nasávanie zmesi do motora.

Zotrvačné sily piesta, piestneho čapu, ojnice a kľukového čapu sú čiastočne vyvažované závažím kľuk.hriadeľa, nachádzajúcim sa pri kľuk.čape. Kľuková skriňa je vzadu uzatvorená **zadným vekom** (16) z ľahkej zliatiny, pripevnenom na skriňu **skrutkami** (17) a utesneným **tesnením** (18). Vo veku býva u niektorých typov motorov naskrutkovaná **tryska** (19), slúžiaca pre odber tlaku z kľukovej skrine do palivivej nádrže.

Prívod vzduchu, paliva a tvorbu pohonnej zmesi zabezpečuje **karbutátor**, pozostávajúci z **difúzora** (20) a **trysky s ihlou**. Vnútorňý tvar diery difúzora zabezpečuje urýchlenie prúdenia nasávaného vzduchu a vytvorenie podtlaku, potrebného pre nasávanie paliva z **trysky** (21). Množstvo nasávaného paliva sa reguluje otáčaním **ihly** (22), ktorej kuželovité zakončenie mení výstupný prierez trysky. Samovoľné pootáčanie ihly počas chodu motora je blokováné matisou alebo iným vhodným spôsobom. Difúzor je zasunutý do diery v náliatku skrine, utesnený **tesnením** (23) a poistený proti vypadnutiu zvláštnymi skrutkami alebo vlastnou tryskou.

Motory so žhaviacou sviečkou

Na obr.2.33 je trojpohľadový náčrt dvojtaktného, vzduchom chladeného, jednovalcového motora so žhaviacou sviečkou, so zadným nasávaním a zdvihovým objemom 6,5 cm³. Motor s označením MVVS 6,5GR ABC bude slúžiť ako reprezentant pre popis konštrukcie motorov so žhaviacou sviečkou.

Obr. 2. 33-1 2-33-1

Modelářský motor MVVS 6,5 GFS – ABC

je určen pro pohon upoutaných akrobatických modelů, upoutaných maket a RC modelů.

Jako speciální příslušenství se dodává RC karburátor (kat.č. 3216), jehož spolehlivá funkce je podmíněna použitím tlumiče výfuku (kat.č. 3246), ze kterého odeberáme tlak do plovkové nádrže.

Montáž tlumiče je vzhledem ke značné hlučnosti výkonného motoru nezbytná ve všech případech použití motoru.

Jsou-li v motoru po delším skladování zbytky ztuhlého konzervačního prostředku, což se projeví ztížením protáčením klikového hřídele, je nutné motor protáhnout malým množstvím (2–3 cm³) petroleje nebo metylekologolu za mírného kmitání klikového mechanismu kolem dolní mrtvé polohy pístu. Po naprostém uvolnění mechanismu je třeba kapalinu vyliť a motor promazat parafinovým olejem nebo konzervačním olejem KONKOR.

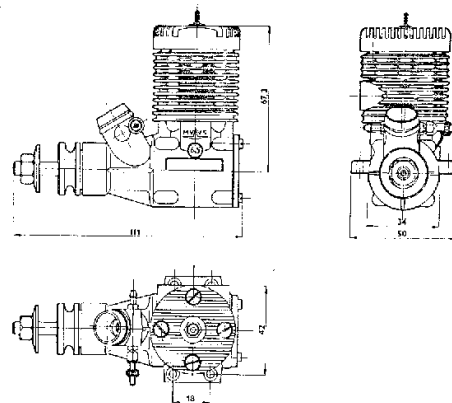
Teprve potom je možné motor uvést do chodu a zaběhat. (Viz Modelářské motory MVVS se zapalováním žhavicí svíčkou staf: „Zaběh motoru“ a „Montáž motoru do modelu“.)

modela

PODNIK ÚV SVAZARMU

MVVS

MODELÁŘSKÝ MOTOR MVVS 6,5 GFS – ABC kat.č. 3063



Technická data

vrtání	mm	21
zdvih	mm	19
zdvahový objem	cm ³	6,57
nejvyšší výkon	kW (k)	0,92 (1,25)
otáč	ot/min.	17 500
hmotnost	g	325

MVVS 6,5 GFS – ABC

MC Kés

Obr. 32-33-2

MODELÁŘSKÝ MOTOR MVVS 6,5 GFS – ABC kot. č. 3063

Náhradní díly včetně standardního příslušenství

Motorová skříň	3060/01-01	*) Píst	3260/07-01
Ložisko přední	3060/02-02	Pístní čep	3060/08-01
Ložisko zadní	3060/02-03	Pojistka pístního čepu	3060/08-02
Zadní víko	3060/03-01	Ojnice kompletní	3060/09-51
Sada šroubů zadního víka	3060/03-02	Klíkový hřídel	3060/10-01
Těsnění zadního víka	3060/03-03	Unášec vrtule	3060/11-01
Zaslepovací šroub	3021/03-06	Kužel unášče	3060/11-02
Válec	3060/04-01	Matice vrtule	3060/11-03
Sada šroubů válce	3060/04-02	Podložka vrtule	3060/11-04
Hlava válce	3060/05-01	Difúzář sací	3060/12-02
Sada šroubů hlavy	3060/05-02	Palivová jehla kompletní	3060/12-02
Těsnění hlavy	3060/05-03	Táhnací kroužek	3060/12-08
Vložka hlavy	3060/05-04	Tryska kompletní	3021/12-50
*) Vložka válce	3060/06-01	Zhavičí svíčka	3204
	3060/07-02		

Díly označené *) se dodávají také společně pod označením „Výbrus válce 3260/06-50“.

Speciální příslušenství:

RC karburátor kot. č. 3216
Tlumič výfuku kot. č. 3246

Motory jsou dodávány včetně standardního příslušenství.

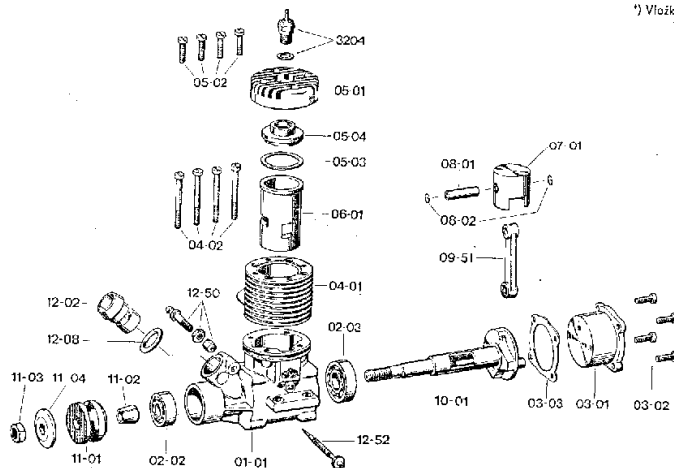
Náhradní díly prodává:

a) přímý prodej

Dům techniky mládeže
Narodní třída č. 28 (vedle obch. domu MAJ)
110 00 Praha 1
Dům obchodních služeb Svazarmu (DOSS)
malobchodní prodejna
Masná ul. č. 18
600 00 Brno

b) zásilkový prodej na dobírku

Dům obchodních služeb Svazarmu (DOSS)
odbytové oddělení
Pospíšileva 12/13
757 01 Valašské Meziříčí



Kľuková skriňa (1) je zhotovená z ľahkej hliníkovej zliatiny, zväčša ako odliatok do kovovej formy (kokily). Na spodnej časti motora sú robustné náliatky – **pätky**, slúžiace k upevneniu motora na motorové nosníky modelu. Kľuk.skriňa tvorí konštrukčnú základňu pre upevnenie všetkých ostatných častí motora.

Valec (2), zhotovený zhodným spôsobom ako skriňa, je upevnený ku skriní ocelovými **skrutkami** (3). Toto riešenie umožňuje vysoko kvalitné vyhotovenie prefukových kanálov a taktiež variabilitu usporiadania smeru vyústenia výfukového kanála. Citelnou nevýhodou je zvýšenie počtu súčiastok, namáhaných spojov a tesnených plôch a hlavne zvýšenie hmotnosti motora. Pre tieto nevýhody sa takáto „delená“ konštrukcia používa iba ojedinele.

Vlastný pracovný priestor motora je tvorený vložkou valca, piestom a hlavou.

Hlava motora (4) je zhotovená z ľahkej hliníkovej zliatiny. Je upevnená k valcu **ocelovými skrutkami** (5). Závitová diera v osi hlavy slúži pre naskrutkovanie **zhaviacej sviečky** (7), utesnenej medenou alebo hliníkovou **podložkou** (8). U vysokovýkonných motorov je zhaviace vlákno upevnené priamo vo **vložke hlavy** (9), zhotovenej z ľahkej hliníkovej zliatiny. Použitie bežných zhaviacich sviečok u takýchto motorov umožňuje výmenná vložka s potrebným závitom. Utesnenie zhaviacich priestoru býva realizované hliníkovými tesneniami, umožňujúcimi i optimalizáciu veľkosti kompresného priestoru.

Vložka valca (10) je u popisovaného typu motora vyhotovená z mosadze. Jej vnútorný funkčný povrch „vývrt“ je po jemnom opracovaní tvrdo chrómovaný a honovaný. Táto povrchová úprava zabezpečuje dlhú životnosť motora a dobrý odvod tepla z pracovného priestoru do chladiacich rebier valca.

Piest (11) je v tomto prípade vyhotovený zo špeciálnej hliníkovej zliatiny s vysokým obsahom kremíka. Táto kombinácia materiálov piesta, vložky valca a povrchovej úpravy vložky má v odbornej terminológii skratku **ABC – Alluminium Brass Chrom**.

Zvládnutie náročnej technológie tvrdého chrómovania hliníka umožnilo u niektorých typov motorov použitie vložky valca z hliníkovej zliatiny. V kombinácii s piestom z hliníkovej zliatiny má takýto typ výbrusu skratku **AAC – Alluminium Alluminium Chrom**. Motory s výbrusom AAC sa vyznačujú malou hmotnosťou a výborným odvodom tepla, čo pri zhodnej tepelnej rozťažnosti vložky valca a piesta zaručuje ich vysokú výkonnosť.

Piest (11) je v prípade použitia ocelevej vložky vyhotovený z ocele, ako u detonačných motorov. U motorov väčších zdvihových objemov býva piest vyhotovený z hliníkovej zliatiny. Vo vložke je utesnený tesniacimi krúžkami zo špeciálnej liatiny.

Ojnica (12) a **piestny čap** (13) sú rovnakej konštrukcie ako u detonačných motorov.

Kľukový hriadeľ (14) je otočne uložený v kľukovej skriňi pomocou guľíkových ložísk (15). Je rovnakej konštrukcie ako u detonačných motorov. U motorov so zadným nasávaním neplní kľukový hriadeľ funkciu rotačného rozdeľovača a preto je plný. Upevnenie vrtule je rovnakej konštrukcie ako u detonačných motorov pomocou **matice** (16), **podložky** (17), **unášača vrtule** (18) a **pružnej kužeľovej vložky** (19). Ojničný čap kľuk.hriadeľa je predĺžený tak, aby unášal rotačný rozdeľovač upevnený v zadnom veku. Rotačný rozdeľovač môže byť diskového alebo valcového tvaru. Býva vyhotovený z ocele. Výrez v rozdeľovači zabezpečuje otváranie a zatváranie nasávacieho kanála v zadnom veku.

Zadné veko (21) uzatvára kľukovú skriňu, je vyhotovené z ľahkej zliatiny a upevnené **skrutkami** (22) a utesnené **tesnením** (23). V diete veka sa otáča čap diskového rozdeľovača alebo samotný valcový rozdeľovač.

Difúzor je zasunutý do diery v náliatku veka, utesnený **tesnením** a poistený proti vypadnutiu zvláštnymi skrutkami.

2.2.1.1.3 Príslušenstvo motorov

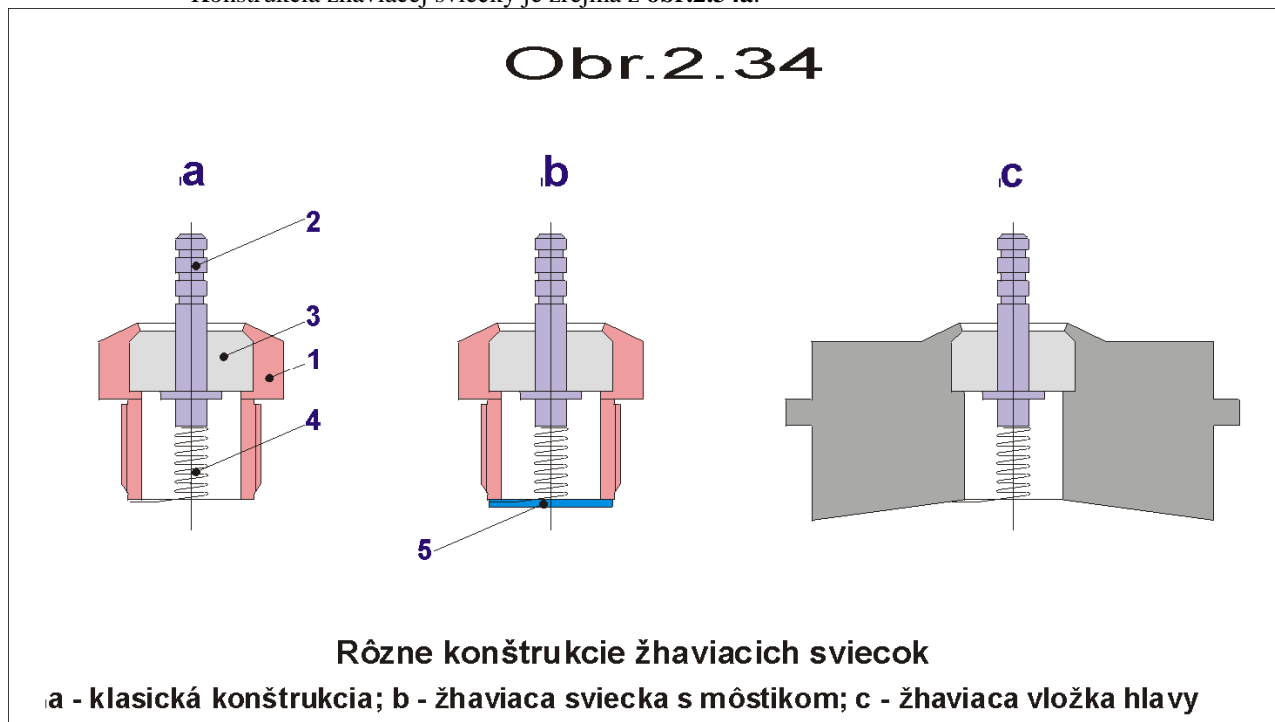
Pod pojmom príslušenstvo motorov rozumieme tie časti motorov, ktorých výmenou môžeme jednoducho prispôsobiť daný motor pre rôzne použitia bez toho, aby sme mechanickým alebo iným spôsobom upravovali jednotlivé časti motora. Do príslušenstva zahŕňame žhaviace sviečky, karburátory a tlmiče výfuku.

Žhaviace sviečky

Funkcia žhaviacej sviečky v spaľovacom motore vyplýva už z jej názvu. Žhaviaca sviečka obsahuje žhaviaci element – vlákno, ktoré zabezpečuje zapálenie komprimovanej pohonnej zmesi vo valci motora.

Pozn. U detonačných motorov je zapálenie zmesi zabezpečené vyšším kompresným tlakom, z čoho vyplýva i vyššie namáhanie konštrukcie motora. U motorov s iskrovou sviečkou je zmes zapálená elektrickou iskrou, vyprodukovanou zložitým elektrickým zariadením, čo má nepriaznivý dopad na zložitosť i hmotnosť motora.

Konštrukcia žhaviacej sviečky je zrejmä z obr.2.34a.



Oceleové alebo mosadzné **telo sviečky** (1) má závit na naskrutkovanie do hlavy motora. **Elektroda** (2) je nalisovaná do **vložky** (3) z ohňovzdornej izolačnej hmoty a tento komplet je upevnený v tele sviečky. **Žhaviace vlákno** z platino-rhódiového, resp. platino-irídiového drôtu 0,2 – 0,35 mm je

jedným koncom upevnené na elektróde a druhým koncom na tele sviečky. Správna funkcia motora priamo závisí od schopnosti vlákna udržať si optimálnu teplotu v rôznych pracovných režimoch motora. Preto sa u motorov používajú žhaviace sviečky rôznej konštrukcie. Na **obr.2.34a** je žhaviaca sviečka „klasicknej“ konštrukcie, vhodná pre motory malých a stredných výkonov, pracujúcich prevažne v ustálenom režime.

➔ *Podľa schopnosti žhaviacej sviečky udržať správnu prevádzkovú teplotu pri danom režime motora, môžeme rozdeliť sviečky na studené, normálne a teplé.*

Pravidlá pre správny výber tepelnej charakteristiky sviečky nieje možné jednoznačne stanoviť a preto je potrebné experimentovať.

➔ *V zásade sa dá však povedať, že studené sviečky sú vhodnejšie pre motory s väčším zdvihovým objemom a vyššími prevádzkovými otáčkami, teplé sviečky sú zas vhodnejšie pre motory s menším zdvihovým objemom a menšími prevádzkovými otáčkami.*

➔ Pre motory, ktorých prevádzkové otáčky kolíšu vo veľkom rozsahu (ovládaný chod motora), používame *žhaviace sviečky s mostikom* (5), **obr.2.34b**, ktorý zabezpečuje dostatočnú teplotu vlákna i pri veľmi nízkych otáčkach – voľnobežných otáčkach motora (kat.**F4D**).

➔ Pre vysokovýkonné motory kat. **F2A** a **F2D** sa používajú *žhaviace hlavy*, **obr.2.34c**, minimalizujúce prehriatie a spálenie vlákna. Žhaviace hlavy zároveň uzatvárajú pracovný priestor motora.

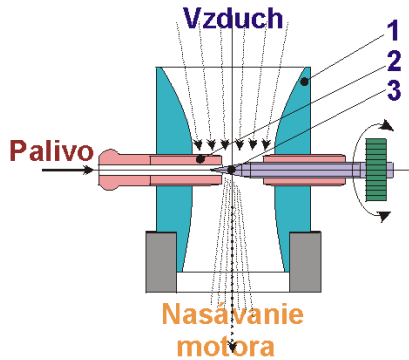
Karburátory

Karburátor zabezpečuje tvorbu pohonnej zmesi, vytváranej rozprášením paliva v prúde nasávaného vzduchu.

Karburátor jednoduchého typu, používaný u všetkých motorov ktoré nemajú možnosť regulácie chodu počas letu modelu, je schématicky znázornený na **obr.2.35**.

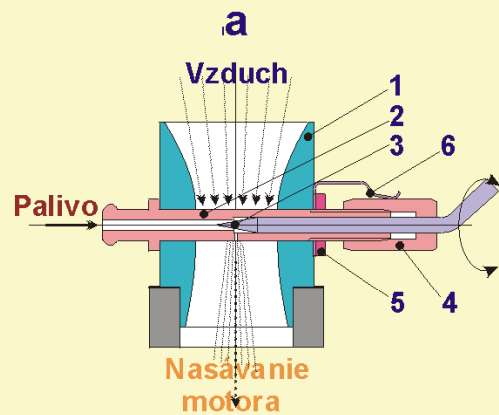
Obr.2.35

Rôzne konštrukcie karburátora (difúzora)

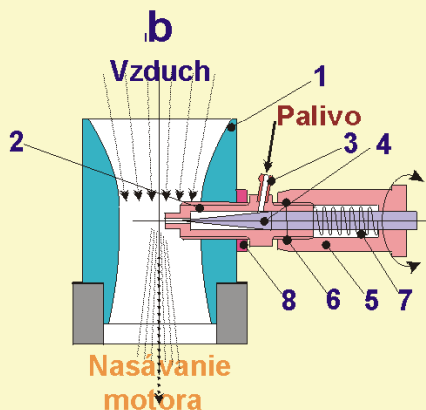


1 - difúzor; 2 - tryska; 3 - regulacná ihla

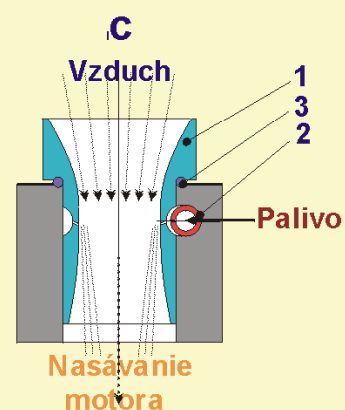
Obr.2.36 a, b, c



1 - difúzor; 2 - tryska; 3 - regulacná ihla
4 - matica ihly; 5 - poist.matica; 6 - pružina



1 - difúzor; 2 - tryska; 3 - prívod paliva;
4 - regulacná ihla; 5 - matica ihly; 6 - tesnenie;
7 - pružina; 8 - poist.matica;



1 - difúzor; 2 - tryska; 3 - tesnenie

Urýchlením nasávaného vzduchu vzniká v zúženom priereze **difúzora** (1) podtlak, nasávajúci palivo z **trysky** (2). Množstvo nasávaného paliva sa reguluje **kuželom ihly** (3), ktorým sa mení výstupný prierez trysky.

Skutočné konštrukčné vyhotovenie karburátora jednoduchého typu sa ustálilo na troch základných prevedeniach:

- s priebežnou tryskou,
- s poltryskou,
- s obstrekovým,

ktoré sú vyobrazené na **obr.2.36**.

U najpoužívanejšieho prevedenia karburátora s priebežnou tryskou, **obr.2.36a**, prechádza **tryska** (2) priebežne osou **difúzora** (1). Palivo v tryske prúdi proti kuželu **ihly** (3) a do priestoru difúzora vstupuje jednou alebo dvoma dierkami. Pohyb ihly zabezpečuje **matica** (4) prispájkovaná na ihle. Tryska je v difúzore upevnená **maticou** (5). Samovoľný pohyb ihly blokuje **pružina** (6) zapadajúca do drážok matice (4). U priebežných trysiek novšej konštrukcie je závit pre posúvanie ihly vyhotovený

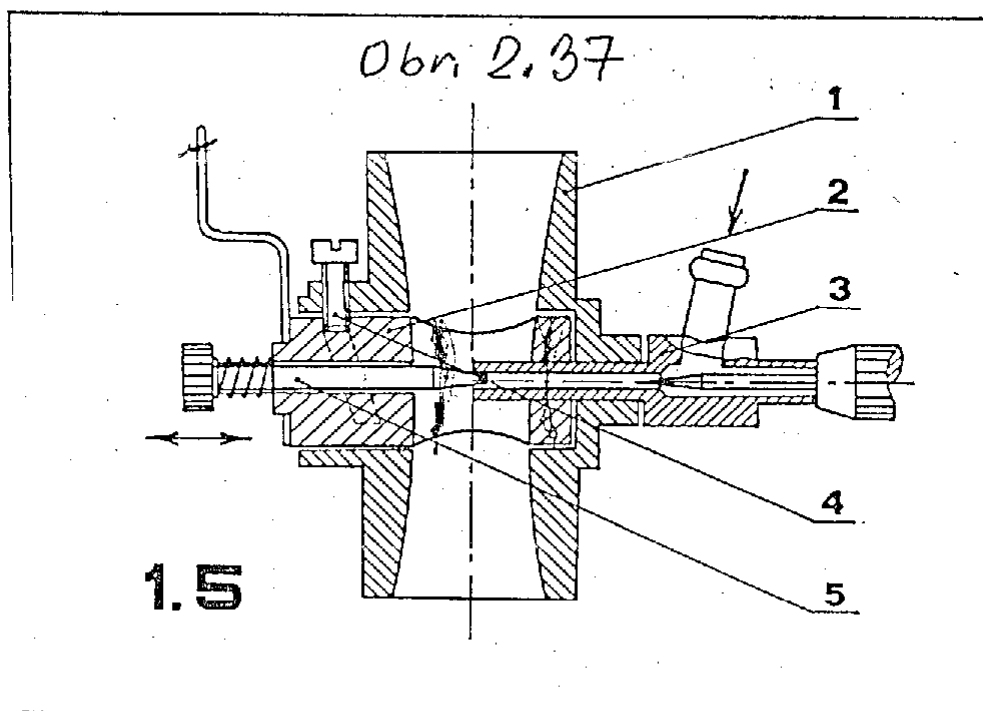
priamo na ihle, čím sa odstráni nespoľahlivé spojenie ihly a matice. Samovoľný pohyb ihly je blokovaný zovretím rozrezaného konca trysky maticou. Správna funkcia tohoto poistenia je však závislá na primeranej presnosti závitov.

Ďalším prevedením karburátora je karburátor s poltryskou, **obr.2.36b. Poltryska** (2) je zaskrutkovaná v **difúzore** (1) a poistená **maticou** (8). Palivo prúdi z prispájkovanej **trubičky** (3) do poltrysky. Pohyb **ihly** (4) zabezpečuje **matica** (5) prispájkovaná na ihle. Palivový priestor trysky je utesnený gumenným **krúžkom** (6) a samovoľný pohyb ihly blokuje **pružina** (7).

Nevýhodou karburátora s priebežnou tryskou a poltryskou spočíva v zmenšení prierezu difúzora a zhoršenom rozprašovaní paliva pri väčšej spotrebe motora. To má nepriaznivý vplyv na výkonnosť motora.

Tieto nevýhody odstraňuje obstrekový karburátor, **obr.2.36c**. Palivo prúdi z **trysky** (2), umiestnenej mimo os difúzora. **Difúzor** je proti vypadnutiu poistený samotnou tryskou (zhodnej konštrukcie ako v prípade „a“) a utesnený gumovým **tesnením** (3). Pri veľkom priereze difúzora však nevzniká dodatočný podtlak pre nasatie potrebného množstva paliva a preto musí byť palivo privádzané do **trysky** (2) pod primeraným **tlakom**.

Pri použití karburátora jednoduchého typu je prevádzkový režim motora možné naregulovať – v modelárskom slangu „naladiť“ iba na zemi, pred štartom modelu. Prevádzkový režim motora po odštartovaní modelu je potom závislý iba na regulačnej schopnosti palivovej sústavy, ktorá by mala v ideálnom prípade dodávať palivo pod konštantným tlakom. Takýto spôsob "jednorázovej" regulácie prevádzkového režimu motora však nevyhovuje modelom kat.**F4B** a **ŠUM**, u ktorých je možnosť regulácie chodu motora počas lietania súťažnej zostavy nutnou podmienkou pre dosiahnutie maximálneho bodového zisku. Preto sa u motorov týchto kategórií používajú karburátory s možnosťou plynulej regulácie množstva dodávanej pohonnej zmesi, bežne používané u modelov ovládaných rádiovou aparátúrou, tzv. **RC karburátory**. Na **obr.2.37** je rez dvojihlovým, tzv.**TN** (*Two Needle*) RC karburátorom, vyvinutým firmou WEBRA.



V *tele karburátora* (1) sa pomocou *páky* (2), napojenej na ovládací mechanizmus, otáča *šupátko* (3), regulujúce nasávací prierez difúzora. V priebehu otáčania sa šupátko zároveň axiálne posúva pomocou *šikmej drážky a skrutky* (4). Pri voľnobežných otáčkach, kedy je nasávací prierez difúzora minimálny,

zasahuje kužel *pomocnej ihly* (5) do *poltrysky* (6) zhodnej konštrukcie ako poltryska jednoduchého karburátora. Pomocnou ihlou je možné doregulovať správne zloženie zmesi pri voľnobežných otáčkach motora. Pri maximálnych otáčkach motora, kedy sa šupátko pomocou šikmej drážky vysunie, čím sa zväčší sací prierez difúzora na maximum, je pomocná ihla úplne vytiahnutá z poltrysky. V tejto polohe sa správne zloženie zmesi reguluje *hlavnou ihlou* (7). Správne nastavený ➔ *RC karburátor by mal umožňovať plynulé a dostatočne rýchle prechody motora z minimálnych do maximálnych otáčok a späť*.

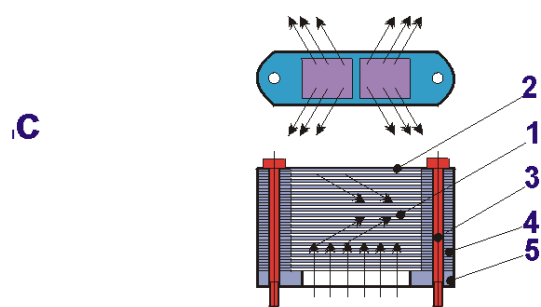
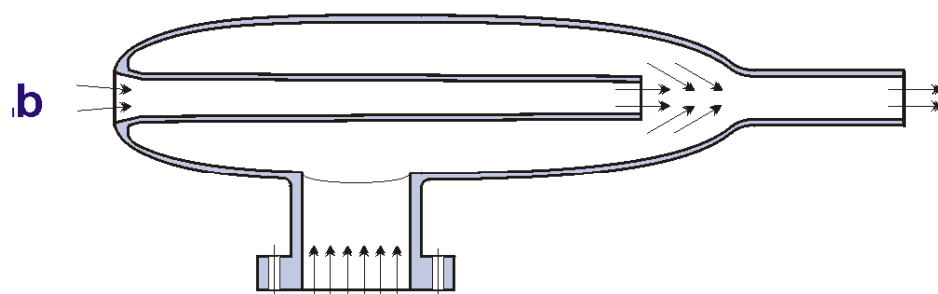
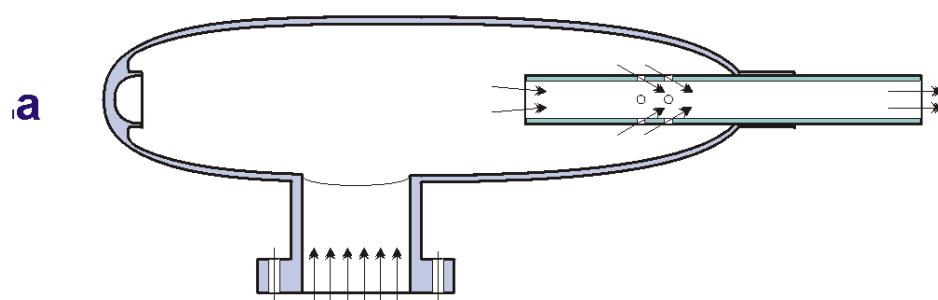
V praxi sa používajú ešte ďalšie typy RC karburátorov, z ktorých najznámejšie sú konštrukcie "*PERRY*" a "*DYNAMIX*". Oba riešia zhodný zásadný problém RC karburátorov, plynulé a dostatočne rýchle prechody motora, vlastným spôsobom.

Tlmiče výfuku

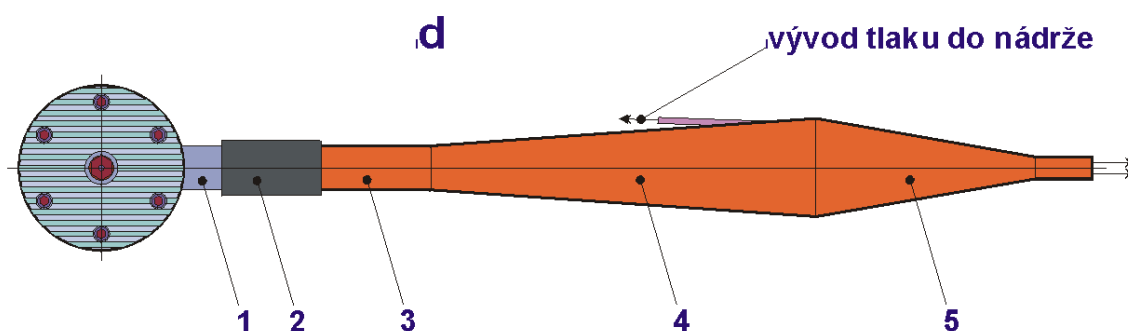
Ochrana životného prostredia a s ňou rastúci i celosvetový boj proti hluku, si aj u modelárstva vyžiadala postupné zavedenie tlmičov výfuku. Podľa súčasných športových pravidiel musia byť všetky modelárske motory so zdvihovým objemom väčším ako $2,5 \text{ cm}^3$ vybavené účinným tlmičom výfuku.

Prvé sa začali používať *jednoduché expanzné tlmiče*, u ktorých je tlmiaci účinok limitovaný hlavne celkovým objemom komory tlmiča, prídavnými prepážkami a priemerom výstupnej diery. Tento typ tlmiča je znázornený na **obr.2.38a**.

Obr.2.38



1 - lameky; 2 - koncová doska; 3 - skrutka; 4 - dištancné podložky; 5 - príruha



1 - výfukové hrdlo motora; 2 - silikonová spojka; 3 - vstupné valcové potrubie;
4 - rozširujúca kužel - expanzná časť; 5 - zužujúca kužel - kompresná časť

Rôzne konštrukcie výfukových tlmicov modelárskych motorov

a - jednoduchý expanzný tlmič; b - prietokový "venturiho" tlmič; c - štrbinový tlmič;
d - rezonancný tlmič

Príruba tlmiča je priskrutkovaná na výfukovú prírubu motora. Vlastné hrdlo smeruje radiálne alebo tangenciálne do expanznej komory tlmiča. Tangenciálny vstup je výhodnejší, lebo zabezpečuje skrutkovicový pohyb spalín v komore a menšiu stratu výkonu motora.

Ďalším typom tlmiča, využívajúcim nápor prúdiaceho vzduchu pre odvod spalín, je tzv. **prietokový alebo "venturiho" tlmič**, znázornený na **obr.2.38b**. Straty výkonu motora predstavujú iba 5 – 15 %. Nevýhodou oboch typov tlmičov je popri strate výkonu i pomerne veľká hmotnosť a značné namáhanie spojenia tlmiča s motorom.

V prípadoch, keď vyváženie modelu nadovoľuje použitie pomerne ťažkého tlmiča, je možné použiť vcelku jednoduchý a ľahký **štrbinový tlmič**, **obr.2.38c**. Štrbinový tlmič pracuje na odlišnom princípe ako tlmiče expanzné. Je tvorený sadou doštičiek (1), stiahnutých spolu s koncovou plnou doskou (2) pomocou skrutiek (3) k prírubu výfuku motora. Pomocou podložiek (4) sú vytvorené medzi doštičkami štrbiny 0.3 – 0.5 mm, ktorými unikajú spaliny do okolia. Tlaková vlna, ktorá vznikne otvorením výfukového kanála, sa pomocou štrbín triešti a motor má "mäkší" zvuk. Praktický tlmiaci účinok tohto tlmiča nieje veľký ale zvuk motora sa dá "počúvať".

Samostatnou kategóriou sú **rezonančné tlmiče**, ktoré pomerne dobre tlmia hluk a pri správnom vyhotovení a "naladení" sú dokonca zdrojom výkonového zisku motora až 30% a viac. Rezonančný tlmič je schématicky znázornený na **obr.2.38d**. Vysvetlenie funkcie rezonančného tlmiča je pomerne jednoduché. Po výbuchu zmesi vo valci sa piest pohybuje smerom k dolnej úvrati a otvára výfukový kanál. Tlaková vlna prúdiacich spalín sa šíri do výfukového hrdla motora cez pružnú hadicovú spojku (2) do výfukového potrubia (3) a kuželovito sa rozširujúcej komory tlmiča (4), až narazí na kuželovito sa zužujúcu časť komory od ktorej sa odráža späť k motoru. Piest zatiaľ ukončil svoj pohyb dolu a prefukovými kanálmi pretlačil čerstvú pohonnú zmes do spaľovacieho priestoru a čiastočne i do výfukového hrdla, v ktorom vznikol za odchádzajúcou tlakovou vlnou podtlak. Piest sa začína pohybovať smerom hore, odrazená tlaková vlna sa medzitým vracia výfukovým potrubím späť a tlačí pred sebou uniknutú pohonnú zmes späť do spaľovacieho priestoru. V tom okamihu piest uzatvára prefukové i výfukové kanály, pokračuje do hornej úvrati kde nastáva zapálenie zmesi, výbuch a nová expanzia splodín horenia. Zvýšenie výkonu je spôsobené preplnením spaľovacieho priestoru pohonnou zmesou. Tlaková vlna vo vnútri rezonančného tlmiča pohybuje rýchlosťou zvuku a za dobu, ktorú potrebuje piest od otvorenia výfukového kanála až po jeho uzatvorenie, musí tlaková vlna prekonať vzdialenosť od výfukového kanála po kuželové zúženie tlmiča a späť.

➔ **Z toho vyplýva, že rezonančný tlmič je vždy naladený iba na určité otáčky motora, zodpovedajúce rezonančnému kmítočtu tlmiča.**

Pokým rezonančné tlmiče sa začali skoro výhradne používať iba u kat.**F2A**, v súčasnosti sa ich používanie rozšírilo i na kat.**F2B**. Ostatné typy tlmičov sa používajú u kategórií **F2B**, **F4B**, **ŠUM** a v posledom období i **F2D**.

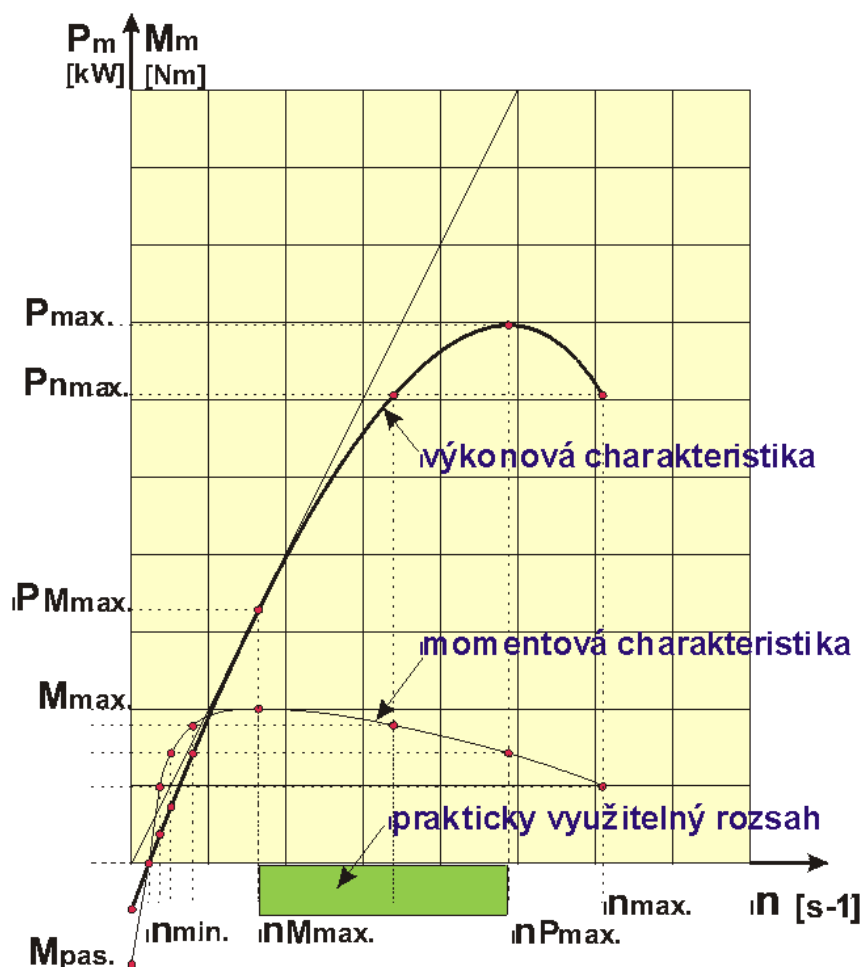
U kat. **F2C** sa tlmiče nepoužívajú.

2.2.1.1.4Prevádzkové charakteristiky motorov

Základnými prevádzkovými charakteristikami motorov sú ich momentová a výkonová charakteristika.

Pod momentovou charakteristikou motora rozumieme závislosť využiteľného krútiaceho momentu **M_m** , odovzdávaného kľukovému hriadelu, na otáčkach kľukového hriadeľa **n** . Momentová charakteristika sa získava brzdením motora na motorovej brzde. Pri skúškach brzdenia sa kľukový hriadeľ zabehnutého motora brzdí definovaným krútiacim momentom **M_k** a po vyladení motora na maximálne otáčky sa tieto otáčky merajú. Meranie sa opakuje pre rôzne krútiace momenty. Takto získané dvojice hodnôt (**M_m** a **n**), vynesené v súradnicovom systéme a spojené plynulou čiarou, sú grafickým znázornením momentovej charakteristiky motora, pozri **obr.2.39**.

Obr.2.39



Momentová a výkonová charakteristika piestového modelárskeho motora bez regulácie množstva pohonnej zmesi

Z priebehu momentovej charakteristiky motora je zrejmé, že do určitých minimálnych otáčok musíme na kľukový hriadeľ privádzať krútiaci moment, potrebný pre prekonanie pasívnych odporov motora. Zvyšovaním otáčok sa pasívne odpory v podstate nemenia, zvyšuje sa však termodynamická účinnosť spaľovacieho procesu, až použiteľný krútiaci moment dosiahne maximálnu hodnotu M_{max} . Pri tomto pracovnom režime je podiel pasívnych odporov na celkovom krútiacom momente minimálny a motor pracuje v optimálnom režime. Pri ďalšom zvyšovaní otáčok využiteľný krútiaci moment klesá, vplyvom postupného zhoršovania termodynamickej účinnosti a nárastom pasívnych odporov. Po prekročení určitých otáčok sa termodynamická účinnosť prudko zhorší.

Pod výkonovou charakteristikou motora rozumieme závislosť využiteľného výkonu motora P_m , odovzdávaného kľukovému hriadeľu, na otáčkach kľukového hriadeľa n . Výkonovú charakteristiku odvodíme z momentovej charakteristiky podľa vzťahu:

$$P_m = \frac{M_m \cdot n}{9557} \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-1}]$$

kde: P_m - využiteľný výkon motora [kW]
 M_m - využiteľný krútiaci moment [Nm]
 n - otáčky motora [min^{-1}]

Vynesením vypočítaných hodnôt do súradnicového systému a ich spojením plynulou čiarou, dostaneme graficky znázornenú výkonovú charakteristiku motora, pozri **obr.2.39**.

Z priebehu výkonovej charakteristiky motora je zrejmé, že výkon môžeme z motora odoberať až od určitých minimálnych otáčok. Do ich dosiahnutia je celý výkon spotrebovávaný na prekonanie pasívnych odporov. Nárastom otáčok sa hodnota využiteľného výkonu P_m zvyšuje, až dosiahne maximum $P_{m_{max}}$ pri otáčkach $n_{P_{max}}$. Ak k čiare výkonovej charakteristiky nakreslíme dotýčnicu vychádzajúcu zo stredu súradnicového systému, budú otáčky zodpovedajúce polohe dotykového bodu zhodné s otáčkami $n_{M_{max}}$, pri ktorých motor dosiahne maximálny krútiaci moment $M_{m_{max}}$.

➔ **Oblasť ohraničená otáčkami $n_{M_{max}}$ a $n_{P_{max}}$ je prakticky využiteľný otáčkový resp. výkonový rozsah motora s atmosférickým (bezpretlakovým) plnením a bez možnosti regulácie množstva pohonnej zmesi.**

Ak na motor nainštalujeme RC karburátor, umožňujúci plynulú reguláciu množstva pohonnej zmesi, pozri **obr.2.37**, bude momentová i výkonová charakteristika motora závislá od **koeficientov škrtenia** $k_{\dot{s}}$, daného vzťahom:

$$k_{\dot{s}} = \frac{Q}{Q_{max}} \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-2}]$$

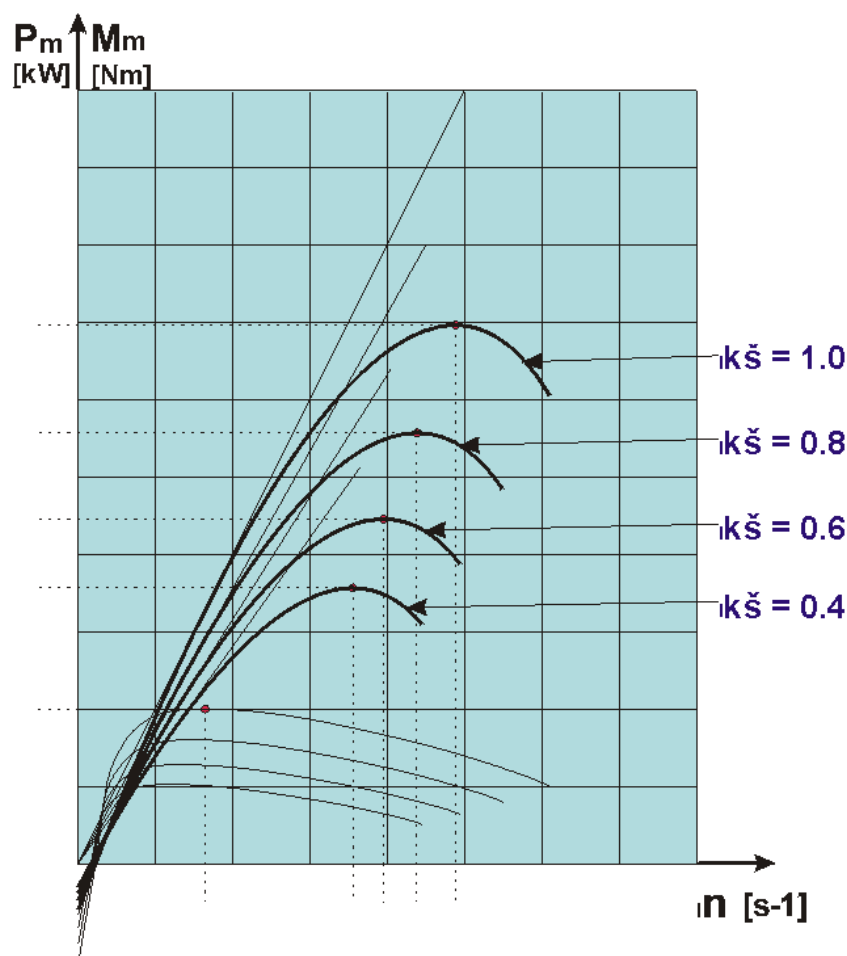
kde: $k_{\dot{s}}$ - koeficient škrtenia $[-]$
množstva pohonnej zmesi

Q - množstvo nasávanej zmesi $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
pri danej polohe šupátka

Q_{max} - maximálne množstvo $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
nasávanej zmesi pri plne
otvorenom šupátku

Výkonové charakteristiky motora s atmosférickým plnením sú pre rôzne koeficienty škrtenia znázornené na **obr.2.40**.

Obr.2.40



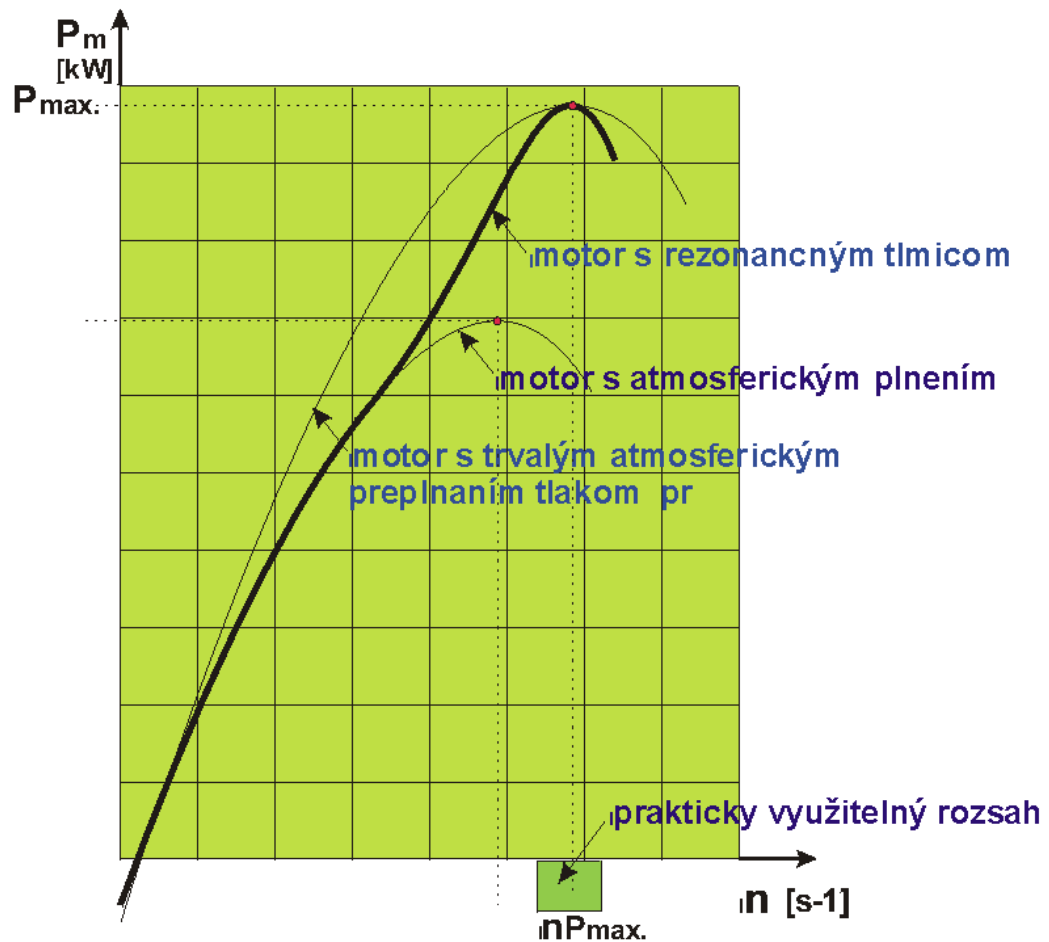
Momentová a výkonová charakteristika piestového modelárskeho motora s možnosťou regulácie množstva pohonnej zmesi

Ak na motor bez možnosti reguláciu množstva pohonnej zmesi nainštalujeme rezonančný tlmič, pozri obr.2.38d, zabezpečujúci pri optimálnych rezonančných otáčkach n_r plniaci tlak p_r , bude výkonová charakteristika motora pri otáčkach menších ako sú rezonančné, zodpovedať výkonovej charakteristike motora s atmosférickým plnením.

➔ Pri otáčkach blízkyh rezonančným, nastane výrazné zvýšenie výkonu, spôsobené narastajúcim efektom preplňovania. Pri rezonančných otáčkach sa výkon motora stotožní s výkonom motora trvalo preplňovaného tlakom p_r .

Výkonová charakteristika motora s rezonančným tlmičom je znázornená na obr.2.41.

Obr.2.41



Momentová a výkonová charakteristika piestového modelárskeho motora preplňovaného rezonancným tlmičom

Rozsah otáčok v oblasti maximálneho výkonu je u motora preplňovaného rezonancným tlmičom veľmi malý a preto si plné využitie výkonu v praxi vyžaduje množstvo experimentov, súvisiacich so správnym naladením celej pohonnej sústavy.

2.2.1.2 Vrtuľa

Vrtuľa transformuje výkon, ktorý jej odovzdáva motor prostredníctvom kľukového hriadeľa vo forme krútiaceho momentu, na výslednú ťahovú silu, potrebnú pre prekonanie aerodynamického odporu letiaceho modelu v ovzduší a gravitačných síl pri jeho stúpaní.

Vrtuľa, pripojená na kľukovom hriadeľi motora, vykonáva rotačný pohyb a spoločne s letiacim modelom i pohyb dopredný – translačný.

2.2.1.2.1 Hlavné konštrukčné parametre a charakteristiky vrtulí.

Najdôležitejšími konštrukčnými parametrami vrtule sú priemer a stúpanie. Oba parametre je potrebné voliť s ohľadom na výkonovú charakteristiku použitého motora a aerodynamické charakteristiky i hmotnosť modelu. Touto problematikou sa zaoberajú ďalšie kapitoly.

Vrtule môžeme rozdeliť podľa ich jednotlivých konštrukčných znakov - charakteristík.

➔ *Podľa počtu listov rozdelujeme vrtule na jedno, dvoj a viaclistové.*

U upútaných modelov sú najviac používané vrtule dvojlistové, nakoľko sú výrobne najjednoduchšie a ich tvar vyhovuje vláknitej štruktúre dreva, z ktorého sú najčastejšie vyhotovené. Pre bežné použitie sú aerodynamicky dostatočne účinné.

U kat.F2A sa používajú výhradne vrtule jednolistové. Ich používanie je vynútené skutočnosťou, že motory s rezonančnými tlmičmi, používanými u tejto kategórie, dosahujú maximálne výkony pri veľmi vysokých otáčkach (cca 30tis. ot./min.). Zodpovedajúca dvojlistová vrtuľa by mala veľmi nízku aerodynamickú účinnosť, vzhľadom na malý priemer, šírku a hrúbku listov. Použitie jednolistových vrtulí bolo tiež priamo závislé na využití kompozitných materiálov, zabezpečujúcich dostatočnú pevnosť koteňovej časti vrtule i tvarovú stabilitu listu. Dynamické vyváženie listu je realizované protizávažím, upevneným na kľukovom hriadeľi spoločne s vrtulou.

Používanie trojlistových vrtulí je u upútaných modelov bežné a viaclistových vcelku ojedinelé. Ich použitie prináša výhodu vyplývajúcu zo zmenšenia priemeru – možnosť zmenšenia stavebnej výšky podvozku modelu. Aerodynamická účinnosť viaclistovej vrtule je však voči jedno a dvojlistovej vrtuli menšia. *Jednou zo "skrýtych" výhod trojlistej vrtule je skutočnosť, že jej moment zotrvačnosti je vo všetkých smeroch kolmých na os rotácie konštantný.* Táto pozitívna dynamická vlastnosť spôsobuje, že uloženie kľukového hriadeľa nieje zaťažované prídavnými pulzujúcimi reakčnými gyroskopickými momentami. Tieto momenty sú tým väčšie, čím rýchlejšie prebieha zmena smeru letu modelu. Takéto extrémne vznikajú hlavne pri lietaní hrán "hranatých figúr" akrobatických modelov kat.F2B.

➔ *Podľa nastaviteľnosti listov rozlišujeme vrtule nenastaviteľné a nastaviteľné.*

Listy nenastaviteľných (tiež pevných) vrtulí majú trvalo pevnú polohu voči osi otáčania. U vrtulí nastaviteľných (buď na zemi za kľudu alebo počas letu) sú listy uložené otočne v náboji upevnenom na kľukovom hriadeľi motora. U upútaných modelov sa používajú výhradne, až na ojedinelé výnimky v kat.F4B, vrtule pevné, pre ich jednoduchosť a malú hmotnosť. Pre stanovenie optimálneho stúpania je výhodnejšie vykonať niekoľko experimentov s vrtulami rozdielneho stúpania.

➔ *Podľa priebehu stúpania listov vrtule na jej jednotlivých priemeroch rozoznávame vrtule s konštantným a premenlivým stúpaním.*

U upútaných modelov sa v prevažnej miere používajú vrtule s konštantným stúpaním, okrem koreňovej časti vrtule. Pre čiastočné zlepšenie aerodynamických i regulačných vlastností sa u kompozitných trojlistových vrtulí kat.F2B zmenšuje stúpanie koncov listov o cca 5%.

Ďalšími konštrukčnými parametrami vrtulí sú tvar a plocha listov, použitý profil a pod..

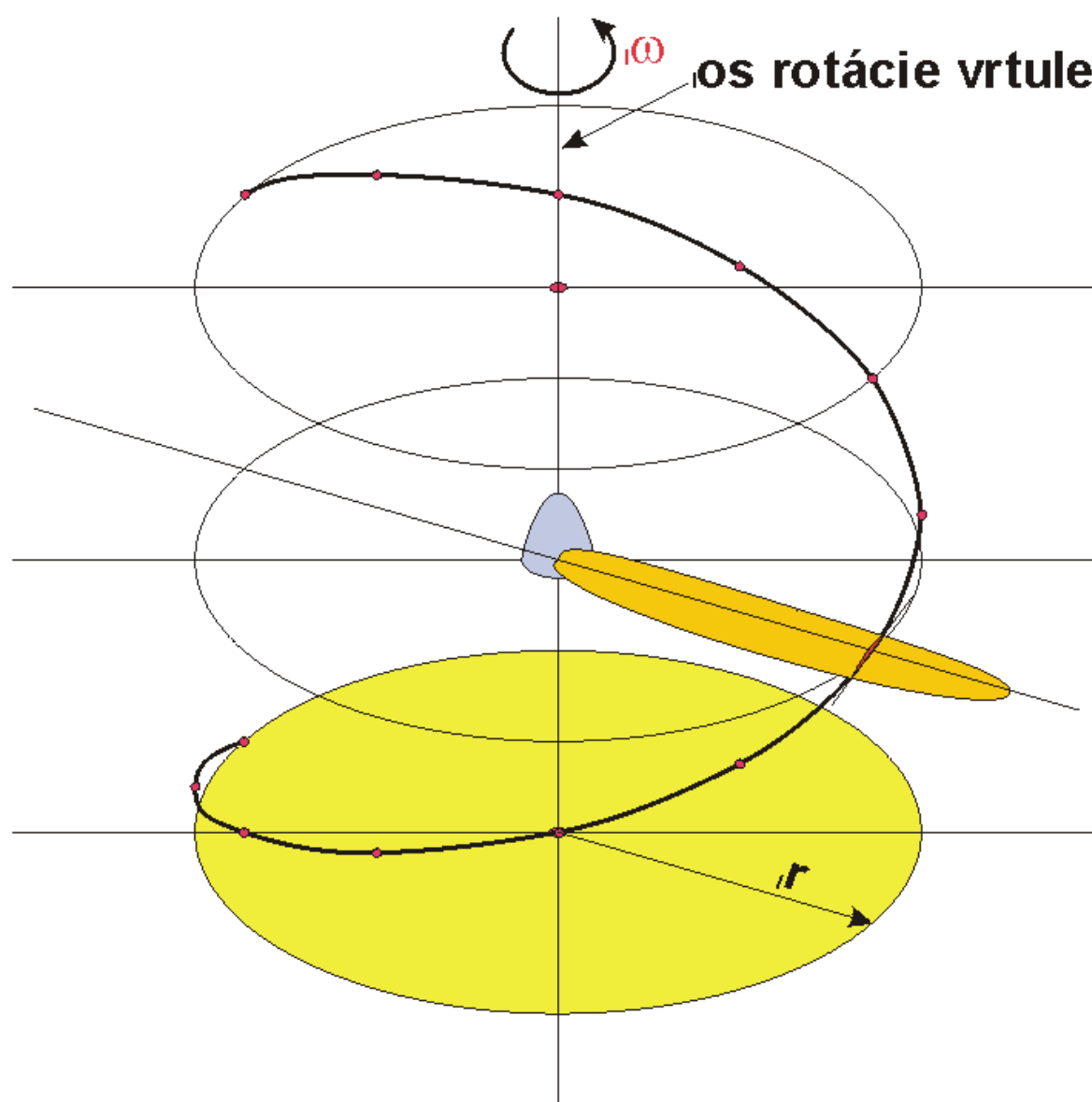
2.2.1.2.2 Geometria a aerodynamika vrtulí.

List vrtule si môžeme predstaviť ako silne skrútené krídlo, ktoré vykonáva súčasne:

- rotačný pohyb okolo osi rotácie vrtule (osi kľukového hriadeľa motora),
- dopredný (translačný) pohyb s celým modelom.

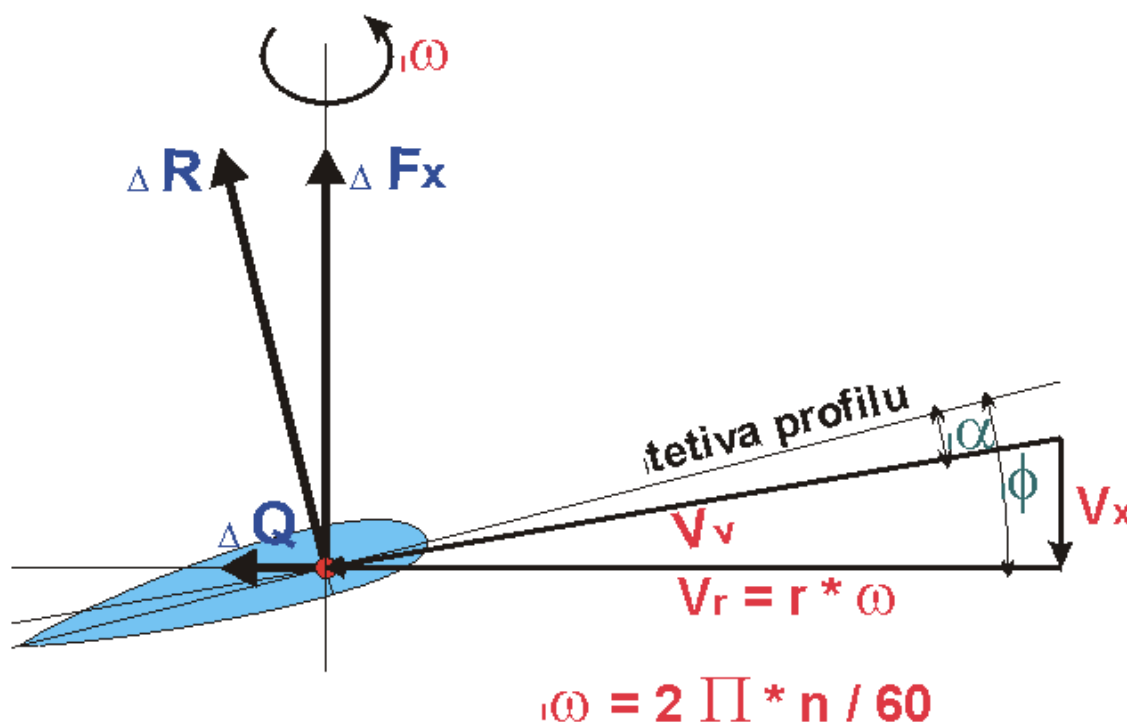
Výsledkom je skrutkovicový pohyb ktoréhokoľvek rezu listu vrtule, pozri obr.2.42.

Obr.2.42



Pohyb rezu listu vrtule

Obr.2.43



Pohyb rezu listu vrtule voci ovzdušiu a elementárne aerodynamické sily

Na obr.2.43 sú zjednodušene znázornené pomery obtekania v mieste zvoleného rezu listu vrtule.

Prúd vzduchu priteká *proti smeru dopredného pohybu modelu* rýchlosťou V_x a zároveň *proti pohybu rezu listu vrtule po obvodu kružnice* o polomere r (zhodného so vzdialenosťou rezu listu vrtule od osi rotácie vrtule) rýchlosťou: $V_r = r * \omega$, kde ω je rýchlosť rotácie vrtule. Rýchlosť V_r leží v rovine otáčania vrtule, nazývanej tiež *rovinou disku vrtule*. Výsledná rýchlosť pritekajúceho prúdu vzduchu v danom reze listu V_v je vektorovým súčtom rýchlostí V_x a V_r .

Uhol medzi tetivou profilu (spojnicou nábežného a odtokového bodu profilu) a rovinou disku vrtule je *uhol nastavenia* ϕ .

Uhol medzi tetivou profilu a výsledným smerom pritekajúceho prúdu vzduchu je *uhol nábehu* α .

V sledovanom reze vrtule vznikne pri obtekaní *elementárna aerodynamická sila* ΔR , ktorú môžeme rozložiť na *elementárnu zložku ťahu vrtule* ΔF_x , rovnobežnú s osou rotácie vrtule a *elementárnu zložku odporu vrtule* ΔQ , ležiacu v rovine disku vrtule. Výslednú ťahovú silu vrtule F_x dostaneme sčítaním *elementárnych zložiek ťahov* vrtule zo všetkých rezov všetkých listov vrtule. Elementárna sila odporu dáva na ramene r elementárny krútiaci moment: $\Delta M_v = \Delta Q * r$. Sčítaním *všetkých elementárnych krútiacich momentov* z jednotlivých rezov všetkých listov vrtule dostávame *výsledný krútiaci moment vrtule* M_v . Ten pôsobí proti rotácii vrtule a musí byť prekonávaný krútiacim momentom motora.

Aby bol ťah vrtule pri danom krútiacom momente motora čo najväčší, je potrebné nastaviť všetky rezy listov vrtule na optimálnu hodnotu uhla nábehu α . Ak predpokladáme, že optimálny uhol nábehu je pre všetky rezy konštantný, potom musí pre uhol nastavenia ϕ jednotlivých rezov platiť vzťah:

$$\varphi_{opt.} = \frac{\alpha_{opt.} + \arctg Vx}{r * \omega}$$

ak: $\omega = 2 * \Pi * n / 60$, po dosadení a úprave dostávame:

$$\varphi_{opt.} = \frac{\alpha_{opt.} + \arctg(9,554 * Vx)}{r * n} \quad [^\circ] \quad [\text{vzorec 2-3}]$$

kde: φ_{opt} - optimálny uhol nastavenia $[^\circ]$
profilu daného rezu

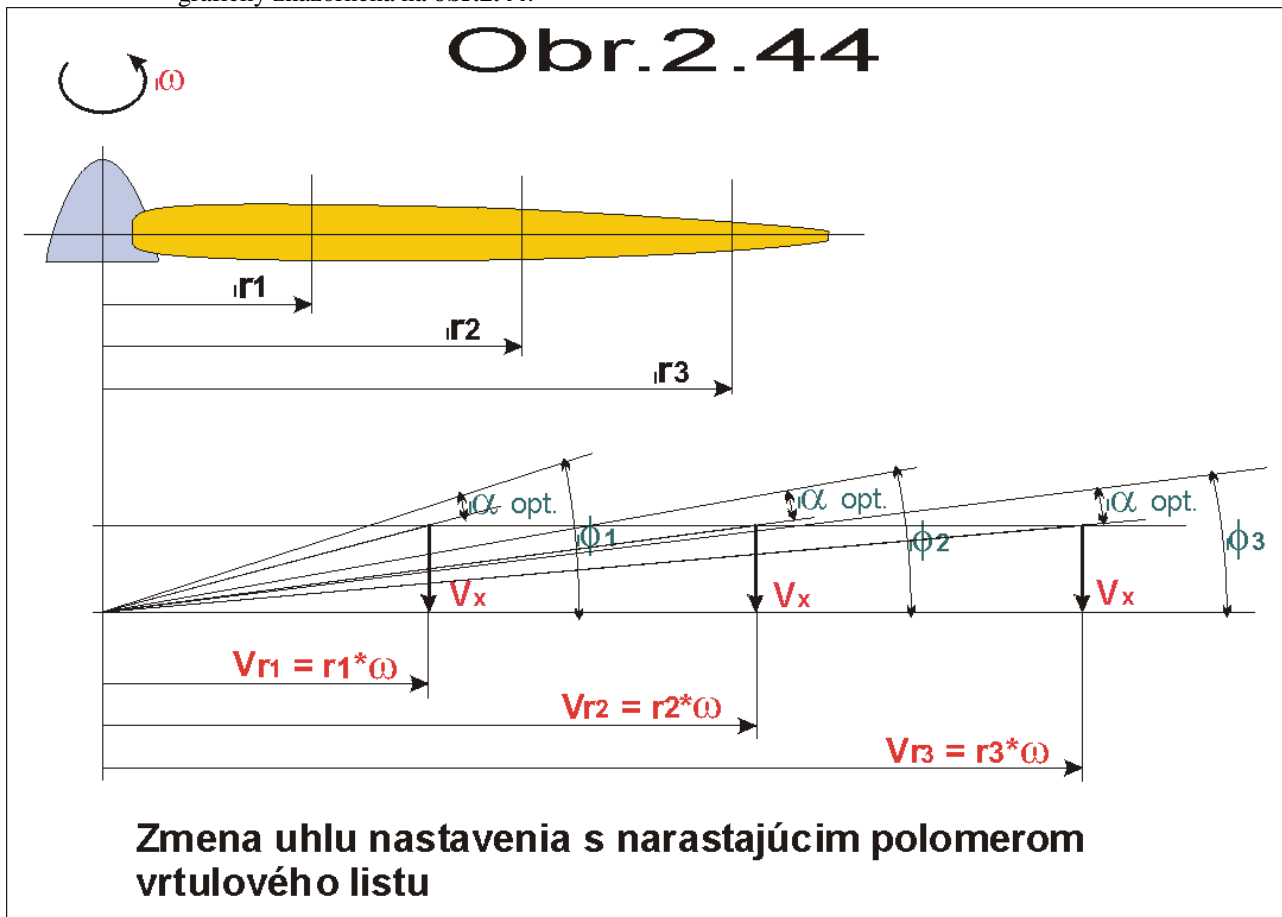
$\alpha_{opt.}$ - optimálny uhol nábehu $[^\circ]$
profilu

Vx - rýchlosťou dopredného
pohybu modelu $[m.s^{-1}]$

r - vzdialenosť daného rezu $[m]$
od osi otáčania

n - frekvencia otáčania vrtule $[min^{-1}]$
(motora)

Zo vzťahu [2-3] vyplýva, že pri danej rýchlosti prúdenia ovzdušia i otáčok motora, bude sa uhol nastavenia zmenšovať s narastajúcou vzdialenosťou rezu od osi rotácie vrtule. Táto závislosť je graficky znázornená na obr.2.44.



Zo vzťahu [2-3] taktiež vyplýva, že priebeh uhlu nastavenia v závislosti na jeho vzdialenosti od osi rotácie vrtule (skrútenie vrtulového listu) je optimálny iba pre daný pomer Vx / n . Z toho zároveň vyplýva, že ak u danej vrtule nieje za letu modelu dodržaný správny pomer Vx / n , klesá jej aerodynamická účinnosť.

Zo vzťahu [2-3] môžeme vyjadriť uhol nábehu pre obecný pomer Vx / n a daný konštrukčný uhol nastavenia vrtule φ_k nasledovným vzťahom:

$$\alpha = \varphi_k - \arctg\left(\frac{9,554 * Vx}{r * n}\right) \quad [^\circ]$$

Konštrukčný uhol nastavenia vrtule môžeme vyjadriť vzťahom:

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{Sk}{2 * \Pi * r}\right) \quad [^\circ]$$

kde: **Sk** je konštrukčné stúpanie vrtule [m]

po dosadení a úprave dostávame:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{Sk}{2 * \Pi * r}\right) - \arctg\left(\frac{9,554 * V_x}{r * n}\right) \quad [^\circ]$$

z čoho po zjednodušení dostávame:

$$V_x = \frac{r * n}{9,554} * \left(\frac{Sk}{2 * \pi * r} - tg\alpha \right) \quad [m.s^{-1}]$$

Ak budeme predpokladať, že optimálny uhol nábehu $\alpha = 3^\circ$ a rýchlosť prúdenia ovzdušia sa pri tomto uhle nábehu rovná letovej rýchlosti modelu V , po dosadení a úprave dostávame:

$$V = \frac{n * Sk}{60} - \frac{r * n}{191} \quad [m.s^{-1}]$$

Ak budeme optimálne pomery v obtekaní listu vrtule vzťahovať na polomer $r = 0,75 * D/2$, po dosadení dostávame:

$$V = \frac{n * Sk}{60} - \frac{n * D}{509} \quad [m.s^{-1}]$$

Optimálna hodnota konštantného stúpania vrtule je potom daná vzťahom:

$$Sk_{opt.} = \frac{60 * V}{n} + 0,118 * D \quad [m] \quad [\text{vzorec 2-4}]$$

Príklad: Aké je optimálne stúpanie vrtule s priemerom $D=0,32$ pri letovej rýchlosti $V=25$ (5 sekúnd na kolo) a otáčkach motora $n=10000$?

$$Sk_{opt.} = \frac{60 * 25}{10000} + 0,118 * 0,32 = 0,1877 \quad [m]$$

Uvedený výsledok sa viditeľne odlišuje od prakticky používaných vrtulí. V uvedenom prípade kat.**F2B** sa používa stúpanie cca 0,1 m. Súvisí to so skutočnosťou, že vrtule majú:

- silne nosný profil ktorý potrebuje menší uhol nábehu ako 3° na vyvinutie potrebného ťahu (predpokladá sa že $\alpha = 0^\circ$ až -2°),
- praktické merania stúpania listov vrtulí vykazujú systémovú chybu, nemeria sa totiž sklon tetivy profilu ale dotyčnica ku spodnej strane profilu.

Ak $n * Sk / 60$ je konštrukčná letová rýchlosť vrtule V_k (pri $\alpha = 0^\circ$) a pomer medzi touto konštrukčnou letovou rýchlosťou vrtule a letovou rýchlosťou modelu vyjadríme ako **koefficient sklzu vrtule $ks = V_k/V$** , po dosadení a úprave dostávame:

$$ks_{opt.} = 1 + \frac{D}{8,47 * Sk - D} \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-5}]$$

Zo vzťahu vidieť, že optimálny koefficient sklzu vrtule nieje závislý iba na priemere a stúpaní vrtule.

Príklad: Aký je optimálny koefficient sklzu vrtule s priemerom $D=0,32$ a stúpaním $Sk = 0,188$?

$$ks_{opt.} = 1 + \frac{0,32}{8,47 * 0,188 - 0,32} = 1 + 0,25 = 1,25$$

Ak poznáme konštrukčné stúpanie vrtule, otáčky motora a letovú rýchlosť modelu, môžeme hodnotu koefficientu sklzu vrtule vyjadriť vzťahom:

$$ks = \frac{Sk * n}{60 * V} \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-6}]$$

Koefficient sklzu vrtule bude vo väčšine prípadov blízky hodnote 1.

Hodnota ***ks sa bude zväčšovať***:

- zvýšeným aerodynamickým odporom ubrzdžujúcim model, spôsobeným lietанím modelu po silne zakrivenej dráhe (akrobatické figúry),
- brzdiacou zložkou zemskej príťažlivosti pri šikmom až kolmom stúpaním modelu (začiatok súvratu),
- letom "dolu vetrom" z náveternej strany,
- najväčšiu hodnotu dosiahne pri stojacom modeli pred jeho štartom.

Hodnota ***ks sa bude znižovať***:

- zníženým aerodynamickým odporom, spôsobeným lietанím modelu v rovine a šikmo dole,
- akcelerujúcou zložkou zemskej príťažlivosti pri šikmom až kolmom klesaní modelu (koniec súvratu),
- letom "proti vetru" zo záveternej strany,
- nulovú hodnotu dosiahne pri letiacom modeli so zastaveným motorom.

2.2.1.2.3 Prevádzkové charakteristiky vrtulí.

Základné charakteristiky vrtule sú momentová, výkonová a ťahová charakteristika.

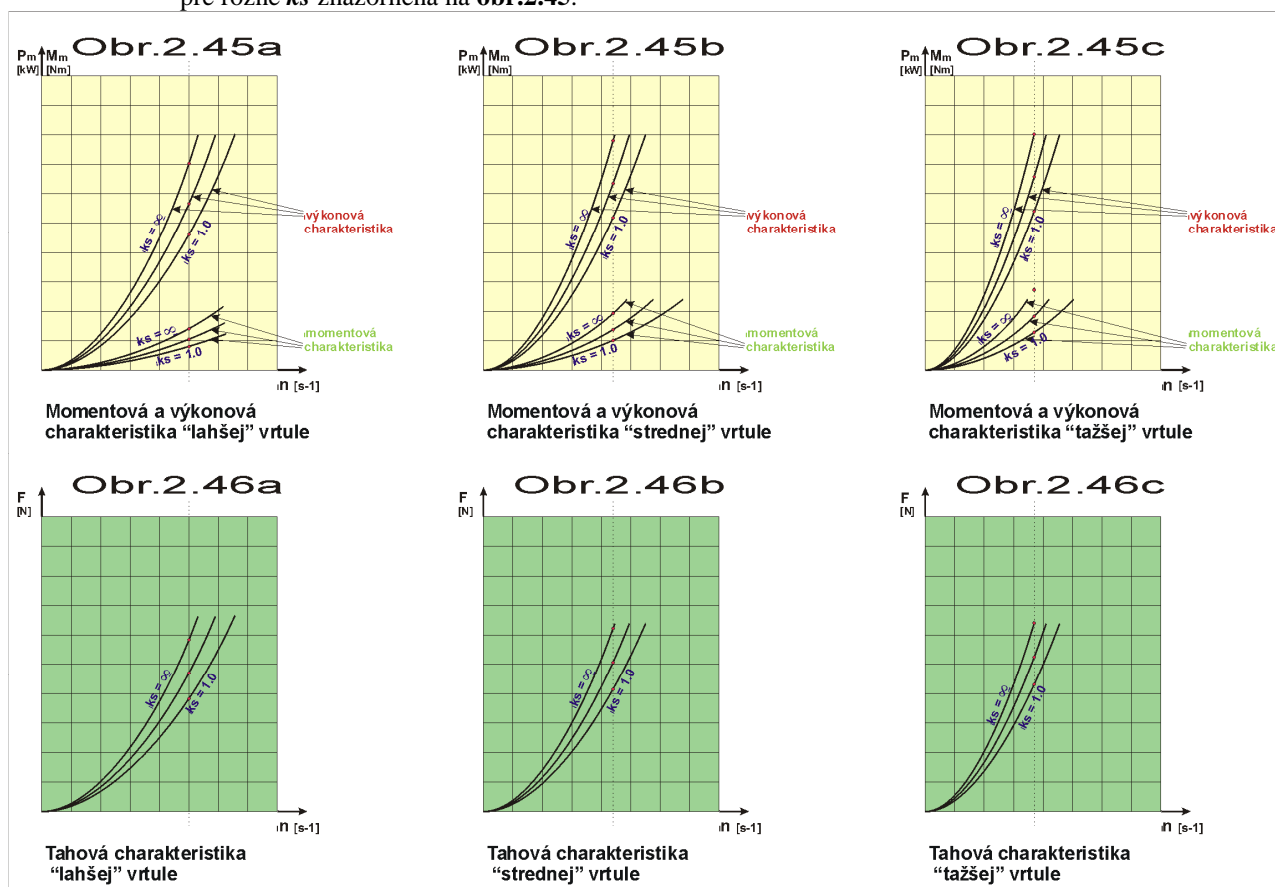
MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA

Pod momentovou charakteristikou vrtule rozumieme závislosť krútiaceho momentu vrtule M_v na otáčkach vrtule n . Nakoľko sa moment vrtule pri daných otáčkach mení tiež so zmenou koeficientu sklzu k_s , bude momentová charakteristika vrtule plocha, ktorú graficky zobrazuje súbor čiar – rezov tejto plochy pre jednotlivé hodnoty k_s .

Ak budeme zjednodušené predpokladať, že sa veľkosť aerodynamických síl (a teda i odporov) na vrtuli mení s druhou mocninou obvodovej rýchlosti vrtule, bude sa i krútiaci moment M_k meniť s druhou mocninou otáčok vrtule n . Pre danú vrtuľu môžeme tento vzťah vyjadriť nasledovne:

$$M_v = K_{M_v} * \frac{n^2}{182,56} \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-7}]$$

kde K_{M_v} je koeficient krútiaceho momentu vrtule, jeho hodnota je závislá na aerodynamických i geometrických parametroch vrtule, hustote ovzdušia a koeficiente sklzu vrtule. Závislosť M_v na n je pre rôzne k_s znázornená na obr.2.45.



Z obrázku je zrejmé, že najväčší krútiaci moment bude pri daných otáčkach odoberať vrtuľa pri stojacom modeli, kedy $k_s \sim \infty$.

Z praktických dôvodov nás bude zaujímať, ako sa bude meniť krútiaci moment vrtule pri zmene jej geometrických parametrov – priemeru, šírky listov alebo stúpania.

A. Zmena šírky listov pri zachovaní priemeru.

Ak sa bude meniť šírka listov vrtule pri zachovaní priemeru a súčasnej zmene hrúbky listov tak, aby bola zachovaná percentuálna hrúbka profilu, bude sa plocha listov meniť lineárne so zmenou šírky listov a pre krútiaci moment bude platiť vzťah:

$$M_{v2} \cong M_{v1} * \frac{b_2}{b_1} \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-8}]$$

kde: M_{v1} je krútiaci moment vrtule so šírkou listov b_1

Mv_2 je krútiaci moment vrtule so šírkou listov b_2

*Príklad 1: Ak zväčšíme šírku listov o 20% pri zachovaní priemeru, bude $Mv_2 = 1,2 * Mv_1$.*

*Príklad 2: Ak zmenšíme šírku listov o 20% pri zachovaní priemeru, bude $Mv_2 = 0,8 * Mv_1$.*

Je zrejmé, že iba zmenšovanie šírky listov sa dá vykonať úpravou pôvodnej vrtule. Je to aj v praxi bežne používaný spôsob úpravy vrtule. Pri zužovaní listov a ich súčasným stenčovaním je však potrebné dodržať určitý minimálny štvorcový pomer listov, nutný pre zabezpečenie dostatočnej dynamickej stability listov.

B. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní plochy listu.

Ak sa bude so zmenou priemeru vrtule meniť aj šírka listov vrtule tak, že plocha listov bude konštantná, pre krútiaci moment bude platiť vzťah:

$$Mv_2 \cong Mv_1 * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-9}]$$

kde: Mv_1 je krútiaci moment vrtule s priemerom D_1

Mv_2 je krútiaci moment vrtule s priemerom D_2

*Príklad 1: Ak zväčšíme priemer vrtule o 20% pri súčasnom zmenšení šírky listov o 20%, bude $Mv_2 = 1,2^3 * Mv_1 = 1,728 Mv_1$.*

*Príklad 2: Ak zmenšíme priemer vrtule o 20% pri súčasnom zväčšení šírky listov o 20%, bude $Mv_2 = 0,8^3 * Mv_1 = 0,512 Mv_1$.*

Je zrejmé, že tieto zmeny sa nedajú dosiahnuť úpravou pôvodnej vrtule, ale musia byť vyhotovené dve samostatné vrtule.

C. Zmena priemeru pri zachovaní šírky listov.

Ak sa bude pri zmene priemeru vrtule bude zachovávať pôvodná šírka listov, bude sa plocha listov plocha listov meniť so zmenou priemeru a pre krútiaci moment bude platiť vzťah:

$$Mv_2 \cong Mv_1 * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-10}]$$

*Príklad 1: Ak zväčšíme priemer vrtule o 20% pri zachovaní pôvodnej šírky listov, bude $Mv_2 = 1,2^4 * Mv_1 = 2,074 Mv_1$.*

*Príklad 2: Ak zmenšíme priemer vrtule o 20% pri zachovaní pôvodnej šírky listov, bude $Mv_2 = 0,8^4 * Mv_1 = 0,4096 Mv_1$.*

Je zrejmé, že iba zmenšenie vrtule sa dá vykonať úpravou pôvodnej vrtule. Je to aj v praxi najčastejší spôsob úpravy vrtule.

D. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní pomeru priemeru a šírky.

Ak sa bude pri zmene priemeru vrtule meniť aj šírku listov tak, aby bol pomer priemeru a šírky listov trvale konštantný, bude sa plocha listov meniť s druhou mocninou zmeny priemeru vrtule a pre krútiaci moment bude platiť vzťah:

$$Mv_2 \cong Mv_1 * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-11}]$$

*Príklad 1: Ak zväčšíme priemer vrtule o 20% pri súčasnom zväčšení šírky listov o 20%, bude $Mv_2 = 1,2^5 * Mv_1 = 2,488 Mv_1$.*

*Príklad 2: Ak zmenšíme priemer vrtule o 20% pri súčasnom zmenšení šírky listov o 20%, bude $Mv_2 = 0,8^5 * Mv_1 = 0,3277 Mv_1$.*

Je zrejmé, že iba zmenšenie vrtule sa dá vykonať úpravou pôvodnej vrtule. Je to aj v praxi bežne používaný spôsob úpravy vrtule.

E. Zmena stúpania listov vrtule.

Ak budeme u vrtule daného priemeru a šírky listov meniť hodnotu konštrukčného stúpania Sk , bude pre krútiaci moment bude platiť vzťah:

$$M_{v2} \cong M_{v1} * \left(\frac{Sk_2 * \cos \varphi_1}{Sk_1 * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\sin(\varphi_2 + 5^\circ)}{\sin(\varphi_1 + 5^\circ)} \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-12}]$$

kde: φ_1 je uhol nastavenia profilu pre $0,75D_1$ so stúpaním Sk_1 :

$$\varphi_1 = \arctg \frac{Sk_1}{0,75 * \Pi * D_1}$$

φ_2 je uhol nastavenia profilu pre $0,75D_2$ so stúpaním Sk_2 :

$$\varphi_2 = \arctg \frac{Sk_2}{0,75 * \Pi * D_2}$$

Priemer $0,75D$ je pre stanovenie uhlu nastavenia rozhodujúci a tento uhol býva udávaný na niektorých priemyselne vyrábaných vrtuliach.

Príklad 1: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zväčšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1=0,10$ na hodnotu $Sk_2=0,12$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 8^\circ 37'; \cos \varphi_1 = 0,98871; \sin(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,23542$$

$$\varphi_2 = 10^\circ 19'; \cos \varphi_2 = 0,98383; \sin(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,26415$$

$$M_{v2} = M_{v1} * \left(\frac{0,12 * 0,98871}{0,10 * 0,98383} \right)^2 * \frac{0,26415}{0,23542} = 1,638 M_{v1}$$

Príklad 2: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zmenšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,10$ na hodnotu $Sk_2=0,08$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 8^\circ 37'; \cos \varphi_1 = 0,98871; \sin(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,23542$$

$$\varphi_2 = 6^\circ 55'; \cos \varphi_2 = 0,99273; \sin(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,17222$$

$$M_{v2} = M_{v1} * \left(\frac{0,12 * 0,98871}{0,08 * 0,99273} \right)^{\frac{2}{3}} * \frac{0,17222}{0,23542} = 0,456 M_{v1}$$

Príklad 3: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zväčšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,20$ na hodnotu $Sk_2=0,24$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 16^\circ 22'; \cos \varphi_1 = 0,95698; \sin(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,37245$$

$$\varphi_2 = 20^\circ 00'; \cos \varphi_2 = 0,93969; \sin(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,42262$$

$$M_{v2} = M_{v1} * \left(\frac{0,24 * 0,95698}{0,20 * 0,93969} \right)^{\frac{2}{3}} * \frac{0,42262}{0,37245} = 1,6947 M_{v1}$$

Príklad 4: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zmenšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,20$ na hodnotu $Sk_2=0,16$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 16^\circ 22'; \cos \varphi_1 = 0,95698; \sin(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,37245$$

$$\varphi_2 = 13^\circ 38'; \cos \varphi_2 = 0,97183; \sin(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,31951$$

$$M_{v2} = M_{v1} * \left(\frac{0,16 * 0,95698}{0,20 * 0,97183} \right)^{\frac{2}{3}} * \frac{0,31951}{0,37245} = 0,5324 M_{v1}$$

Z príkladov je zrejmé, že zmena stúpania má veľký vplyv na zmenu krútiaceho momentu. So zmenou stúpania sa však budú meniť i výkon a ťah vrtule.

Zo vzťahu a [2-12] príslušných vzťahov pre výpočet uhlu nastavenia vyplýva, že i pri zachovaní stúpania vrtule sa bude meniť uhol nastavenia profilu na rozhodujúcom priemere 0,75D, čo bude mať vplyv i na zmenu krútiaceho momentu. Preto je pri požiadavke presnejších výpočtov vplyvu zmien parametrov vrtule na krútiaci moment nutné v prípadoch B, C a D vykonať doplnkovú korekciu podľa vzťahu [2-12].

VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA

Pod výkonovou charakteristikou vrtule rozumieme závislosť výkonu (príkonn) vrtule P_v na otáčkach vrtule n . Výkonovú charakteristiku môžeme odvodiť z momentovej charakteristiky zhodne ako u motora. Vzťah pre výkon danej vrtule môžeme vyjadriť nasledovne:

$$P_v \equiv \frac{K_{M_v} * n^3}{1,745 * 10^6} \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-13}]$$

kde: P_v - výkon (príkonn) vrtule [kW]

K_{M_v} - koeficient krútiaceho momentu vrtule [Nm]

n - otáčky vrtule (motora) [min^{-1}]

Zo vzťahu vyplýva, že výkon vrtule rastie s treťou mocninou otáčok. Závislosť P_v na n je pre rôzne k_s znázornená na obr.2.45.

Z praktických dôvodov, zhodne ako u krútiaceho momentu, nás bude zaujímať, ako sa bude meniť výkon vrtule pri zmene jej geometrických parametrov – priemeru, šírky listov alebo stúpania.

A. Zmena šírky listov pri zachovaní priemeru.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-8]:

$$P_{v2} \equiv P_{v1} * \frac{b_2^2}{b_1^2} \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-14}]$$

kde: P_{v1} je výkon vrtule so šírkou listov b_1

P_{v2} je výkon vrtule so šírkou listov b_2

Pozn.: Spôsob prepočtu výkonov je identický so spôsobom prepočtu momentov uvedených v momentovej charakteristike.

B. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní plochy listu.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-9]:

$$P_{v2} \cong P_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-15}]$$

C. Zmena priemeru pri zachovaní šírky listov.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-10]:

$$P_{v2} \cong P_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-16}]$$

D. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní pomeru priemeru a šírky.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-11]:

$$P_{v2} \cong P_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-17}]$$

E. Zmena stúpania listov vrtule.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-12]:

$$P_{v2} \cong P_{v1} * \left(\frac{Sk_2 * \cos \varphi_1}{Sk_1 * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\sin(\varphi_2 + 5^\circ)}{\sin(\varphi_1 + 5^\circ)} \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-18}]$$

ŤAHOVÁ CHARAKTERISTIKA

Pod ťahovou charakteristikou vrtule rozumieme závislosť celkového ťahu vrtule F_v na otáčkach vrtule n . Nakoľko sa ťah vrtule pri daných otáčkach mení tiež so zmenou koeficientu sklzu ks , bude ťahová charakteristika vrtule plocha, ktorú graficky zobrazuje súbor čiar – rezov tejto plochy pre jednotlivé hodnoty ks .

Vzťah pre ťah vrtule môžeme vyjadriť zhodným spôsobom ako pre moment vrtule:

$$F_v = K_{F_v} * \frac{n^2}{91,28} \quad [\text{N}] \quad [\text{vzorec 2-19}]$$

kde K_{F_v} je koeficient ťahu vrtule, jeho hodnota je zhodne ako u krútiaceho momentu závislá na aerodynamických i geometrických parametroch vrtule, hustote ovzdušia a koeficiente sklzu vrtule.

Závislosť F_v na n je pre rôzne ks znázornená na **obr.2.46**. spoločne s 2.45

Z obrázku je zrejmé, že najväčší ťah bude pri daných otáčkach odoberať vrtuľa pri stojacom modeli, kedy $ks \sim \infty$.

Z praktických dôvodov nás bude zaujímať, ako sa bude meniť ťah vrtule pri zmene jej geometrických parametrov – priemeru, šírky listov alebo stúpania.

A. Zmena šírky listov pri zachovaní priemeru.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-8]:

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \frac{b_2}{b_1} \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-20}]$$

kde: F_{v1} je ťah vrtule so šírkou listov b_1

F_{v2} je ťah vrtule so šírkou listov b_2

B. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní plochy listu.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-9]:

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-21}]$$

C. Zmena priemeru pri zachovaní šírky listov.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-10]:

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-22}]$$

D. Zmena priemeru a šírky listov pri zachovaní pomeru priemeru a šírky.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-11]:

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \quad [\text{kW}] \quad [\text{vzorec 2-23}]$$

E. Zmena stúpania listov vrtule.

Vzťah pre výkon vrtule odvodíme zo vzťahu [2-12]:

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \left(\frac{Sk_2 * \cos \varphi_1}{Sk_1 * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\cos(\varphi_2 + 5^\circ)}{\cos(\varphi_1 + 5^\circ)} \quad [\text{N.m}] \quad [\text{vzorec 2-24}]$$

Uhly nastavenia φ_1 a φ_2 sa stanovujú zhodne ako vo výpočte momentov [2-12]

Príklad 1: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zväčšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,10$ na hodnotu $Sk_2=0,12$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 8^\circ 37'; \cos \varphi_1 = 0,98871; \cos(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,97189$$

$$\varphi_2 = 10^\circ 19'; \cos \varphi_2 = 0,98383; \cos(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,96448$$

$$F_{v2} = F_{v1} * \left(\frac{0,12 * 0,98871}{0,10 * 0,98383} \right)^2 * \frac{0,96448}{0,97189} = 1,449 F_{v1}$$

Príklad 2: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zmenšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,10$ na hodnotu $Sk_2=0,08$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 8^\circ 37'; \cos \varphi_1 = 0,98871; \cos(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,97189$$

$$\varphi_2 = 6^\circ 55'; \cos \varphi_2 = 0,99273; \cos(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,98506$$

$$F_{v2} = F_{v1} * \left(\frac{0,08 * 0,98871}{0,10 * 0,99273} \right)^2 * \frac{0,98506}{0,97189} = 0,642 F_{v1}$$

Príklad 3: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zväčšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,20$ na hodnotu $Sk_2=0,24$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 16^\circ 22'; \cos \varphi_1 = 0,95698; \cos(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,92805$$

$$\varphi_2 = 20^\circ 00'; \cos \varphi_2 = 0,93969; \cos(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,90631$$

$$F_{v2} = F_{v1} * \left(\frac{0,24 * 0,95698}{0,20 * 0,93969} \right)^2 * \frac{0,90631}{0,92805} = 1,4585 F_{v1}$$

Príklad 4: Ak u vrtule s priemerom $D=0,28$ zmenšíme stúpanie z hodnoty $Sk_1 = 0,20$ na hodnotu $Sk_2=0,16$, bude platiť:

$$\varphi_1 = 16^\circ 22'; \cos \varphi_1 = 0,95698; \cos(\varphi_1 + 5^\circ) = 0,92805$$

$$\varphi_2 = 13^\circ 38'; \cos \varphi_2 = 0,97183; \cos(\varphi_2 + 5^\circ) = 0,94758$$

$$F_{v2} = F_{v1} * \left(\frac{0,16 * 0,95698}{0,20 * 0,97183} \right)^2 * \frac{0,94758}{0,92805} = 0,6337 F_{v1}$$

Ak porovnáme zmeny ťahu a momentu vrtule v závislosti na zmene stúpania (príklady 1 – 4), môžeme konštatovať, že pri zväčšovaní stúpania bude hodnota poddielu ťahu a momentu vrtule klesať a obrátene. Z toho vyplýva, že:

- ➔ pri rovnakom krútiacom momente bude ťah vrtule väčší pri menšom stúpaní vrtule,
- ➔ zlepši sa aerodynamická účinnosť vrtule,
- ➔ stanovenie správneho stúpania vrtule je najdôležitejším momentom pri návrhu alebo voľbe vrtule.

Otázkou ale zostáva, aké je optimálne stúpanie vrtule vo vzťahu k danému motoru a modelu. Odpoveď na túto otázku nájdeme v nasledujúcej kapitole.

Prevádzkové charakteristiky vrtulí môžeme získať experimentálne na skúšobnom zariadení, ktorého pohon tvorí elektromotor. Pri skúškach stačí, aby sme zistili hodnoty M_v (alebo P_v) a F_v pre rôzne koeficienty k_s iba pri jedných otáčkach. Ostatné body kriviek sa dajú jednoducho vypočítať podľa uvedených vzťahov [2 - 7; 13 a 19]. V bežnej praxi sa však dá vykonať meranie iba pre $k_s \sim \infty$. Pre ostatné hodnoty je nutné vykonať merania v aerodynamickom tuneli, čo je prakticky aj pre špičkových modelárov prakticky nedostupné.

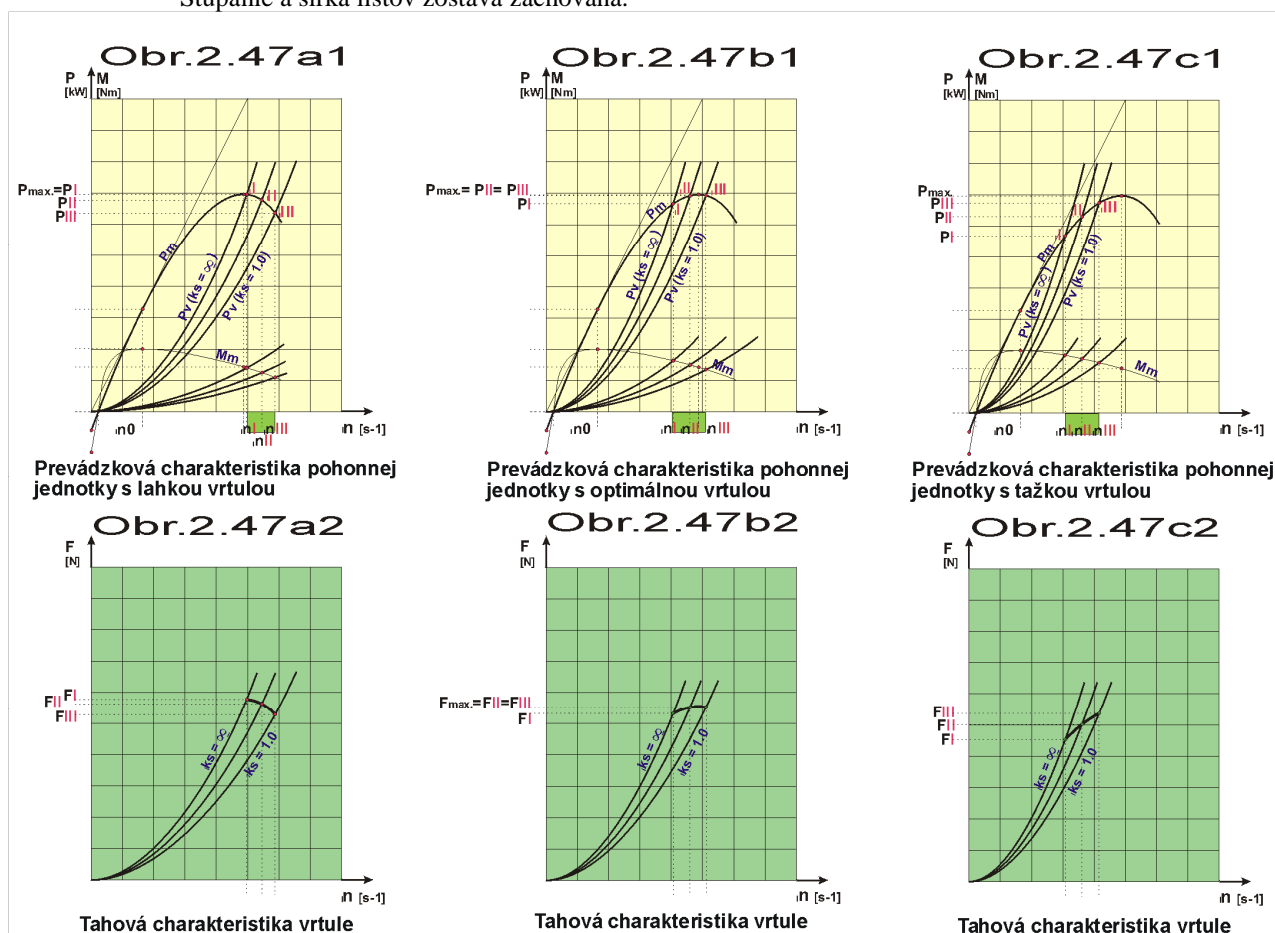
2.2.1.3 Prevádzkové charakteristiky pohonnej jednotky

Pri stanovovaní prevádzkových charakteristík pohonnej jednotky vychádzame z rovnovážneho stavu síl a momentov motora a vrtule.

Ťah vrtule F_v sa prenáša cez kľukový hriadeľ a ložiská do kľukovej skrine a cez upevňovacie pätky motora do konštrukcie draku. Reakciou na ťah vrtule je v ustálenom vodorovnom lete aerodynamický odpor draku a pútacích drôtov X . V prípade, že aerodynamický odpor je menší ako ťah vrtule, model zvyšuje letovú rýchlosť a obrátene. V prípade, že model stúpa, pribúda k aerodynamickému odporu i zložka sily zemskej príťažlivosti. Pri klesaní modelu zložka sily zemskej príťažlivosti pôsobí súhlasne s ťahom vrtule.

Z podmienky rovnováhy taktiež vyplýva, že krútiaci moment vrtule a motora musia mať v každom okamihu rovnakú hodnotu ale opačný zmysel. Zhodná podmienka platí aj pre výkon vrtule a motora. Súbor prevádzkových režimov vrtule a motora, pre ktoré sú splnené podmienky rovnováhy krútiacich momentov a výkonov, môžeme stanoviť jednoduchou grafickou metódou tak, že do jedného diagramu zakreslíme prevádzkové charakteristiky vrtule i motora.

Na obr.2.47a – c sú zakreslené prevádzkové charakteristiky motora s atmosférickým plnením a troch vrtulí s rôznymi výkonovými charakteristikami. Líšia sa iba priemerom v rozsahu 0,9D; 1,0D a 1,1D. Stúpanie a šírka listov zostáva zachovaná.



Súbor prevádzkových režimov, pri ktorých nastáva rovnováha momentov i výkonov motora i vrtule, leží na výkonovej krivke motora medzi priesečkami s výkonovou krivkou vrtule pre $k_s \sim \infty$ (bod I) a $k_s = 1$ (bod III).

Polohe prvého priesečníku zodpovedajú otáčky n_I , výkon P_I a ťah vrtule F_{vI} . Otáčkam n_I zodpovedá príslušný krútiaci moment M_I . Tieto parametre dosiahne pohonná jednotka pri stojacom modeli, kedy $k_s \sim \infty$.

Polohe druhého priesečníku zodpovedajú otáčky n_{III} , výkon P_{III} a ťah vrtule Fv_{III} . Otáckam n_{III} zodpovedá príslušný krútiaci moment M_{III} . Tieto parametre dosiahne pohonná jednotka počas letu modelu iba v prípade, že sa aerodynamický odpor modelu a pútačieho zariadenia X vrátane zložky zamskej príťažlivosti rovná ťahu vrtule Fv_{III} . Pre vodorovný ustálený let je možné rúto rovnováhu síl vyjadriť vzťahom:

$$Fv = X$$

$$\text{alebo: } Fv = c_x * S * \rho * \frac{V^2}{2} \quad [\text{N}] \quad [\text{vzorec 2-25}]$$

kde: X - aerodynamický odpor modelu $[\text{N}]$
a pútačích drôtov

c_x - koeficient aerodynamického $[-]$
odporu modelu a pútačích drôtov

S - nosná plocha modelu $[\text{m}^2]$

ρ - špecifická hmotnosť ovzdušia $[\text{kg.m}^3]$
od osi otáčania

V - letová rýchlosť modelu $[\text{m.s}^{-1}]$

Letovú rýchlosť modelu však môžeme vyjadriť vzťahom:

$$V = \frac{n * S_k}{60 * k_s} \quad [\text{m.s}^{-1}]$$

Ak $k_s = 1$ a $n = n_{III}$, po dosadení do vzťahu [2-25] a úprave dostávame:

$$Fv_{III} = c_x * S * \rho * \frac{n_{III}^2 * S_k^2}{7200} \quad [\text{N}] \quad [\text{vzorec 2-26}]$$

Ak bude aerodynamický odpor modelu menší ako Fv_{III} , model bude zvyšovať rýchlosť letu až do hodnoty, kedy nastane rovnováha medzi ťahom vrtule a odporom modelu. Pritom však bude koeficient sklzu vrtule klesať pod hodnotu 1, pri súčasnom zhoršovaní aerodynamickej účinnosti vrtule.

Ak bude aerodynamický odpor modelu väčší ako Fv_{III} , ustália sa otáčky motora v rozmedzí n_I až n_{III} na takej hodnote, kedy nastane rovnováha medzi ťahom vrtule a odporom modelu. Týmto otáckam bude zároveň odpovedať príslušný výkon motora a príslušný koeficient sklzu vrtule väčší ako 1. Ak sa otáčky motora ustália na hodnote $n = n_{III} / k_{s_{opt}}$, bude aerodynamická účinnosť vrtule maximálna.

Na obr.2.47a je prevádzková charakteristika pohonnej jednotky s „ľahkou“ vrtuľou. „Ľahká“ vrtuľa je na diagrame charakterizovaná polohou bodu **III**, ktorý leží na hranici maximálneho výkonu motora.

Ak bude aerodynamický odpor modelu menší ako Fv_{II} , ustália sa otáčky na hodnote vyššej ako n_{II} a motor bude pracovať v nepriaznivom režime, bude sa „pretáčať“, čo bude mať nepriaznivý vplyv na jeho životnosť. Kritickú hodnotu Fv_{II} môžeme vyjadriť vzťahom:

$$Fv_{II} = c_x * S * \rho * \frac{n_{III}^2 * S_k^2}{7200 * k_{s_{II}}^2} \quad [\text{N}] \quad [\text{vzorec 2-27}]$$

kde: $k_{s_{II}}$ je koeficient sklzu vrtule, zodpovedajúci výkonovej krivke vrtule prechádzajúcej bodom II – maximálnym výkonom motora.

Ak bude odpor modelu zhodný s Fv_{II} , bude motor odovzdávať vrtuli maximálny výkon, aerodynamická účinnosť vrtule však bude nízka.

Ak bude odpor modelu väčší ako Fv_{III} a otáčky motora sa ustália na hodnote $n = n_{III} / k_{s_{opt}}$, bude aerodynamická účinnosť vrtule maximálna.

Ak bude odpor modelu väčší ako Fv_{II} , ustália sa otáčky motora v rozmedzí n_I až n_{II} . Aerodynamická účinnosť vrtule však bude nízka.

Najnepriaznivejší prípad nastane vtedy, ak $n_I > n_{II}$. To značí, že vrtuľa je veľmi „ľahká“ a pre daný motor nepoužiteľná.

Na obr.2.47b je prevádzková charakteristika pohonnej jednotky s optimálnou vrtuľou. Optimálna vrtuľa je na diagrame charakterizovaná polohou bodu **III**, ktorý leží za bodom maximálneho výkonu motora – bod **II**. Pritom platí:

$$n_{III} \cong k_{s_{opt}} * n_{II}$$

Ak bude aerodynamický odpor modelu menší ako $F_{v_{II}}$, ustália sa otáčky na hodnote vyššej ako n_{II} a motor bude pracovať v nepriaznivom režime, bude sa „pretáčať“. Kritickú hodnotu $F_{v_{II}}$ môžeme vyjadriť pomocou vzťahu [2-27] ak za k_s dosadíme optimálnu hodnotu [2-4]:

$$F_{v_{II}} = c_x * S * \rho * \frac{n_{II}^2 * S_k^2}{7200 * \left(1 + \frac{D}{8,47 * S_k - D}\right)^2} \quad [N] \quad [\text{vzorec 2-28}]$$

Ak bude odpor modelu zhodný s $F_{v_{II}}$, bude motor odovzdávať vrtuli maximálny výkon, pri maximálnej aerodynamickej účinnosti vrtule, čomu voči prípadu **a** zodpovedá i zvýšenie ťahovej sily vrtule.

Ak bude odpor modelu väčší ako $F_{v_{II}}$, otáčky motora sa ustália v rozmedzí n_I až n_{II} na takej hodnote, pri ktorej nastane rovnováha ťahu vrtule a aerodynamického odporu modelu. Týmto otáčkam bude zároveň zodpovedať príslušný výkon motora a koeficient skľuzu vrtule. Aerodynamická účinnosť vrtule sa zhorší.

Na obr.2.47c je prevádzková charakteristika pohonnej jednotky s „ťažkou“ vrtulou. „Ťažká“ vrtuľa je na diagrame charakterizovaná polohou bodu **III**, ktorý leží pod bodom maximálneho výkonu motora.

Ak bude aerodynamický odpor modelu menší ako $F_{v_{III}}$, (vzťah 2-26), bude model zvyšovať rýchlosť letu až do hodnoty, kedy nastane rovnováha medzi ťahom vrtule a odporom modelu. Pritom však bude koeficient skľuzu vrtule klesať pod hodnotu 1, čo bude mať za následok pokles ťahu a účinnosti vrtule.

Ak bude odpor modelu väčší ako $F_{v_{III}}$, ustália sa otáčky motora v rozmedzí n_I až n_{III} , až do hodnoty, kedy nastane rovnováha medzi ťahom vrtule a odporom modelu. Týmto otáčkam bude zároveň zodpovedať príslušný výkon motora a koeficient skľuzu vrtule a aerodynamická účinnosť vrtule. Ak sa otáčky ustália na hodnote $n = n_{III} / k_{s_{opt}}$, bude aerodynamická účinnosť vrtule maximálna.

Z rozborov prevádzkových charakteristík pohonnej jednotky vyplýva, že ak má byť dosiahnutá maximálna účinnosť pohonnej jednotky, musí vrtuľa dosiahnuť maximálny výkon motora pri otáčkach $n_{III} = k_{s_{opt}} * n_{II}$. Pritom musí aerodynamický odpor dosiahnuť hodnotu $F_{v_{II}}$ pri $k_{s_I} = k_{s_{opt}}$ (vzťah 2-28). V bežnej modelárskej praxi však zväčša nieje dostupná možnosť exaktne zistiť prevádzkové charakteristiky motora a vrtule ani koeficient odporu modelu. Isté zjednodušenie predsa len existuje. Vyplýva zo skutočnosti, že pomer ťahu vrtule a odporu modelu zostáva v určitom rozsahu otáčok motora konštantný (pozri vzťahy 2 – 19; 25; 26). Z toho vyplýva, že koeficient skľuzu vrtule nieje v určitom rozsahu otáčok motora závislý na otáčkach motora a letovej rýchlosti modelu. Na základe tohto zjednodušenia môžeme potom koeficient skľuzu vyjadriť vzťahom:

$$k_s = \frac{S_k * f * t}{2 * \Pi * r_{do}} \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-29}]$$

kde: k_s - koeficient skľuzu vrtule [-]

S_k - stúpanie vrtule [m]

f - frekvencia tónu motora [s⁻¹]

t - čas obletu jedného [s]

letového okruhu

r_{do} - polomer letovej dráhy modelu [m]

Frekvenciu tónu motora zosnímame počas letu modelu nahraním zvuku motora na magnetofón (zo stredu letového kruhu), pri súčasnom odmeraní času jedného okruhu. Frekvenciu tónu motora je totiž u dvojtaktného motora zhodná s jeho otáčkami za sekundu. Jej hodnotu stanovíme porovnaním nahratého zvuku so zvukom tónového generátora po jeho vyladení na rovnaký tón (pomer frekvencie susedných tónov je 1,06). Po vyhodnotení experimentu môžu nastať nasledovné prípady:

							vrtuľa je pre model		vrtuľa je pre motor		upraviť stúpanie		upraviť priemer	
							ľahká	ťažká	ľahká	ťažká	zmenšiť	zväčšiť	zmenšiť	zväčšiť
A	k_s	<	$k_{s_{opt}}$	n	>	n_{II}		T	L			X		

B	ks	<	ks_{opt}	n	\approx	n_{II}		T		T		X	X	
C	ks	<	ks_{opt}	n	<	n_{II}		T		T		X	XX	
D	ks	\approx	ks_{opt}	n	>	n_{II}		OK	L			X		X
E	ks	\approx	ks_{opt}	n	\approx	n_{II}		OK		OK				
F	ks	\approx	ks_{opt}	n	<	n_{II}		OK		T	X		X	
G	ks	>	ks_{opt}	n	>	n_{II}	L		L		X			XX
H	ks	>	ks_{opt}	n	\approx	n_{II}	L		L		X			X
J	ks	>	ks_{opt}	n	<	n_{II}	L			T	X		X	

Uvedeným postupom môžeme nájsť optimálne stúpanie i priemer vrtule pre daný model a motor. S optimálnou vrtulou je potom model schopný dosiahnuť max. letovú rýchlosť. Želateľného výsledku však dosiahneme iba v prípade, ak je výkon motora zodpovedajúci danému modelu a požadovanej letovej rýchlosti.

Ak poznáme otáčky motora pri ktorých má model dosiahnuť danú letovú rýchlosť, môžeme stúpanie vrtule vypočítať zo vzťahu [2-4].

Príklad 1. Model kat.F2B má dosiahnuť letovú rýchlosť $V=25\text{m/sec}$ (cca 90km/hod) pri otáčkach motora 10,000 ot/min a priemere vrtule $D=0,32\text{m}$

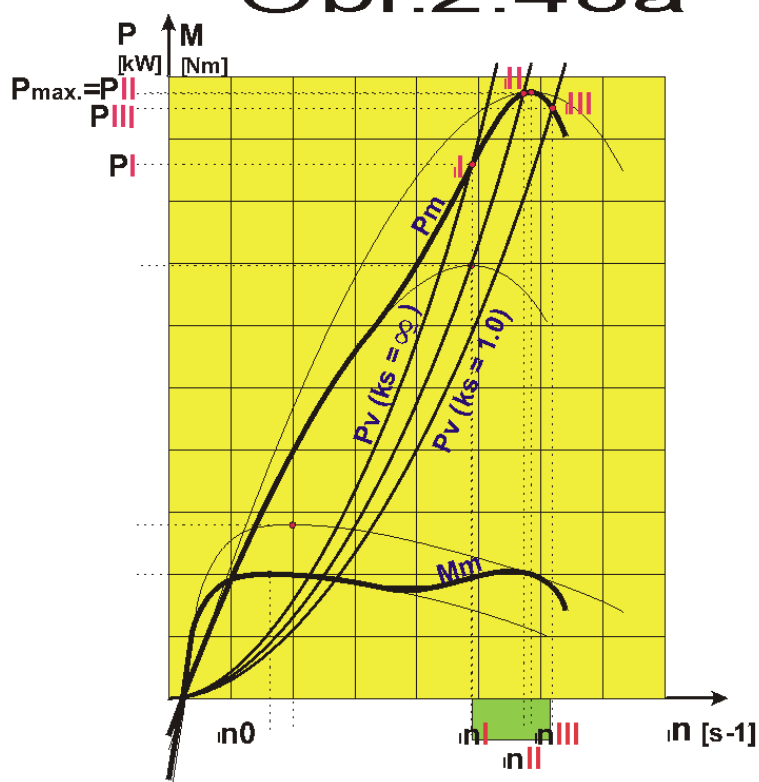
$$Sk_{opt.} = \frac{60 * 25}{10000} + 0,118 * 0,32 = 0,188 \quad [m]$$

Príklad 2. Model kat.F2A má dosiahnuť letovú rýchlosť $V=77,8\text{m/sec}$ (cca 280km/hod) pri otáčkach motora 30,000 ot/min a priemere vrtule $D=0,12\text{m}$

$$Sk_{opt.} = \frac{60 * 77,8}{30000} + 0,118 * 0,12 = 0,170 \quad [m]$$

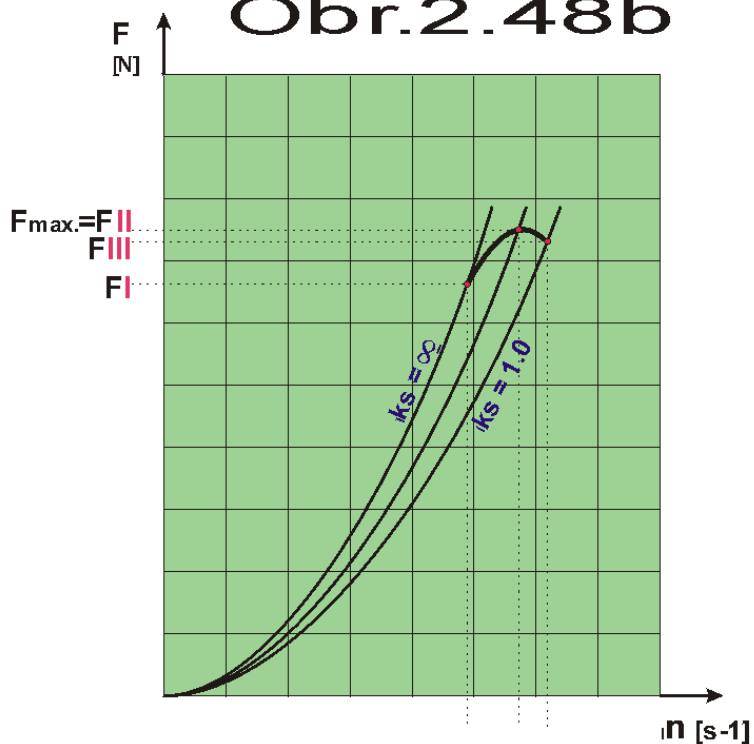
Na **obr.2.48** je prevádzková charakteristika pohonnej jednotky s motorom preplňovaným rezonančným tlmičom a s optimálnou vrtulou.

Obr.2.48a



Prevádzková charakteristika pohonnej jednotky s rezonančným tlmicom a optimálnou vrtulou

Obr.2.48b



Tahová charakteristika vrtule

Z priebehu výkonovej krivky motora a vrtule je zrejmé, že rezerva výkonu motora je voči výkonu vtule veľmi malá, zvlášť v prechodovom pásme, kedy začína rezonančný tlmič „pracovať“ na zvýšení výkonu motora. Ak by sme použili „ľahkú“ vrtuľu, túto oblasť prekoná pohonná jednotka ľahko, motor sa však „pretočí“ a poškodí. Ak by sme použili vrtuľu „ťažkú“, motor vôbec nedosiahne potrebné otáčky pre správnu funkciu rezonančného tlmiča.

Na nasledujúcom príklade si ukážeme postup, pomocou ktorého môžeme stanoviť zmenu prevádzkových charakteristík pohonnej jednotky pri prechode z dvojlistovej vrtule na jednolistovú. Táto zmena prichádza do úvahy hlavne u modelov kat.F2A, u ktorých pri veľkej výkonnosti motora a veľkej letovej rýchlosti modelu vychádza u dvojlistovej vrtule veľký uhol nastavenia φ a tým i nepriaznivá aerodynamická účinnosť vrtule.

Príklad: Predpokladajme, že u modelu kat.F2A boli experimentálne nájdené optimálne rozmery dvojlistovej vrtule: $D_1 = 0,12$; $S_{k1} = 0,17$ a

$$\varphi_1 = \arctg \frac{0,17}{0,75 * 3,14 * 0,12} = \arctg 0,60156 = 31^\circ$$

Je potrebné vypočítať rozmery lednolistovej vrtule so zhodnou šírkou listu tak, aby bol využitý plný výkon motora.

Riešenie: Priemer jednolistovej vrtule vypočítame zo vzťahu [2-10] za predpokladu, že krútiaci moment jednolistovej vrtule bude dvojnásobok krútiaceho momentu dvojlistovej vrtule:

$$M_{v2} \cong M_{v1} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4$$

$$D_2 = D_1 * \sqrt[4]{2} = 0,12 * 1,187 = 0,142$$

Uhol nastavenia jednolistovej vrtule vypočítame zo vzťahu:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{0,17}{0,75 * 3,14 * 0,148} = \arctg 0,50836 = 27^\circ$$

Zo vzťahu [2-12] vypočítame opravný koeficient pre zmenu krútiaceho momentu v závislosti na zmene uhlu nastavenia:

$$M_{v2} \cong M_{v1} * \left(\frac{S_{k2} * \cos \varphi_1}{S_{k1} * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\sin(\varphi_2 + 5^\circ)}{\sin(\varphi_1 + 5^\circ)} = M_{v1} * \left(\frac{0,17 * 0,85717}{0,17 * 0,89101} \right)^2 * \frac{0,52992}{0,58779} = 0,8344 M_{v1}$$

Ak by sme použili túto vrtulu, motor by sa pretočil a poškodil. Preto je potrebné nájsť vrtulu s väčším stúpaním tak, aby mala pri daných otáčkach zhodný krútiaci moment ako pôvodná dvojlistová vrtula. Nové stúpanie stanovíme skusmo: $S_{k2} = 0,18$. Uhol nastavenia s novým stúpaním vypočítame zo vzťahu:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{0,18}{0,75 * 3,14 * 0,142} = \arctg 0,53826 = 28^\circ 10'$$

Zo vzťahu [2-12] vypočítame opravný koeficient pre zmenu krútiaceho momentu v závislosti na zmene uhlu nastavenia:

$$M_{v2} \cong M_{v1} * \left(\frac{S_{k2} * \cos \varphi_1}{S_{k1} * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\sin(\varphi_2 + 5^\circ)}{\sin(\varphi_1 + 5^\circ)} = M_{v1} * \left(\frac{0,18 * 0,89101}{0,17 * 0,88158} \right)^2 * \frac{0,54708}{0,52992} = 0,8344 * 1,1823 M_{v1} = 0,9865 M_{v1}$$

Výsledná presnosť priblíženia momentu M_{v2} k momentu M_{v1} je dostatočná. Nová jednolistová vrtula bude pri daných otáčkach odoberať rovnaký výkon ako pôvodná dvojlistová. Pritom bude jej celkový ťah väčší. Nárat ťahu vypočítame zo vzťahov [2-22] a [2-24].

$$F_{v2} \cong \frac{F_{v1}}{2} * \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 = 0,5 * 1,187^4 * F_{v1} = 0,5 * 1,98519 * F_{v1} = 0,9926 F_{v1}$$

$$F_{v2} \cong F_{v1} * \left(\frac{S_{k2} * \cos \varphi_1}{S_{k1} * \cos \varphi_2} \right)^2 * \frac{\cos(\varphi_2 + 5^\circ)}{\cos(\varphi_1 + 5^\circ)} = F_{v1} * \left(\frac{0,18 * 0,89101}{0,17 * 0,88158} \right)^2 * \frac{0,83708}{0,84805} = 1,13 F_{v1}$$

Letová rýchlosť modelu vzrastie pri použití jednolistovej vrtule približne podľa vzťahu:

$$V_2 = V_1 * \sqrt{\frac{F_{v2}}{F_{v1}}} = 1,063 V_1$$

Prevádzkové charakteristiky pohonných jednotiek, uvedených na **obr.2.47** a **2.48**, sú platné iba za podmienky, že motor je v každom režime „vyladený“ na maximálne otáčky. Ak sa počas letu bude meniť nasávací prierez difúzora (RC karburátor), alebo zloženie pohonnej zmesi, bude sa meniť

i skutočná prevádzková charakteristika pohonnej jednotky. Vplyv zmeny zloženia pohonnej zmesi na výkonovú charakteristiku motora je obdobný, ako vplyv škrtenia nasávaného množstva pohonnej zmesi (pozri **obr.2.40**).

2.2.2 Palivová sústava, palivá

Palivová sústava slúži na uskladnenie paliva potrebného pre pohon motora počas letu modelu. Taktiež zabezpečuje jeho pravidelnú dodávku do karburátora motora, prípadne i zastavenie jeho dodávky v stanovenom čase.

Palivová sústava upútaného modelu sa skladá z palivovej nádrže a príslušenstva palivovej nádrže.

2.2.2.1 Palivová nádrž

Palivová nádrž plní okrem uskladňovacej funkcie i veľmi dôležitú regulačnú funkciu, zabezpečujúcu dodávku takého množstva paliva, ktoré je potrebné pre správnu funkciu motora v jednotlivých letových režimoch upútaného modelu. Tejto funkcii je podriadená i konštrukcia nádrže a jej napojenie na okolité ovzdušie prípadne na zdroj tlaku.

2.2.2.1.1 Rozdelenie nádrží

Podľa stability tvaru a objemu delíme nádrže na **pevné a pružné**. U pevných nádrží nie je ich tvar ani objem závislý na stupni naplnenia ani na prevádzkovom tlaku. U pružných nádrží sa objem i rozmery nádrže prispôbujú momentálnemu objemu uskladneného paliva.

Podľa spôsobu regulácie dodávky paliva delíme nádrže na **podtlakové, beztlakové a pretlakové**. U pevných nádrží nie je ich tvar ani objem závislý na stupni naplnenia ani na prevádzkovom tlaku. U pružných nádrží sa objem i rozmery nádrže prispôbujú momentálnemu objemu uskladneného paliva.

- **Pretlakové nádrže** zabezpečujú najstabilnejšiu dodávku paliva. Potrebný prevádzkový tlak získavajú v prípade pevných nádrží tlakom privádzaným z kľukovej skrine motora alebo tlmiča a v prípade pružných nádrží vlastným napätím pružnej steny.
- **Bezpretlakové nádrže** sa vyznačujú tým, že tlak v priestore nenaplnenom palivom sa zhoduje s tlakom okolitej atmosféry.
- **U podtlakových nádrží** je tlak v priestore nenaplnenom palivom nižší ako tlak okolitej atmosféry.

Voľba typu nádrže a spôsobu regulácie dodávky paliva je závislá na špecifických požiadavkách jednotlivých kategórií.

- Kat.**F2A** používajú sa **výhradne pevné nádrže s pretlakovou reguláciou** s odberom tlaku z ladeného tlmiča motora. Toto usporiadanie zabezpečuje potrebné zvýšenie dodávaného množstva paliva v závislosti na výkone motora.
- Kat.**F2B** používané sú **skoro výhradne pevné nádrže s podtlakovou alebo pretlakovou reguláciou**. Potrebný tlak sa získava odberom z tlmiča motora. Nádrže s podtlakovou reguláciou využívajú **princíp „krmítka“**.
- Kat.**F2C** používajú sa **výhradne pevné beztlakové nádrže**. Použitie pružných nádrží nedovoľujú súťažné pravidlá. Použitie podtlakovej alebo pretlakovej regulácie nie je vzhľadom na malé rozmery (8 ccm) nádrže potrebné ani účelné.
- Kat.**F2D** používajú sa **výhradne pružné nádrže s pretlakovou reguláciou** dodávajúce vo všetkých letových režimoch modelu rovnaké množstvo paliva, čím je zabezpečený trvale vysoký výkon motora.
- Kat. **F4D** používajú sa **nádrže** vhodného typu ako u kat. **F2B**.
- U cvičných modelov sa používajú vo väčšine prípadov pevné beztlakové nádrže, ojedinele podtlakové alebo pretlakové nádrže.

2.2.2.1.2 Konštrukcia pevných nádrží

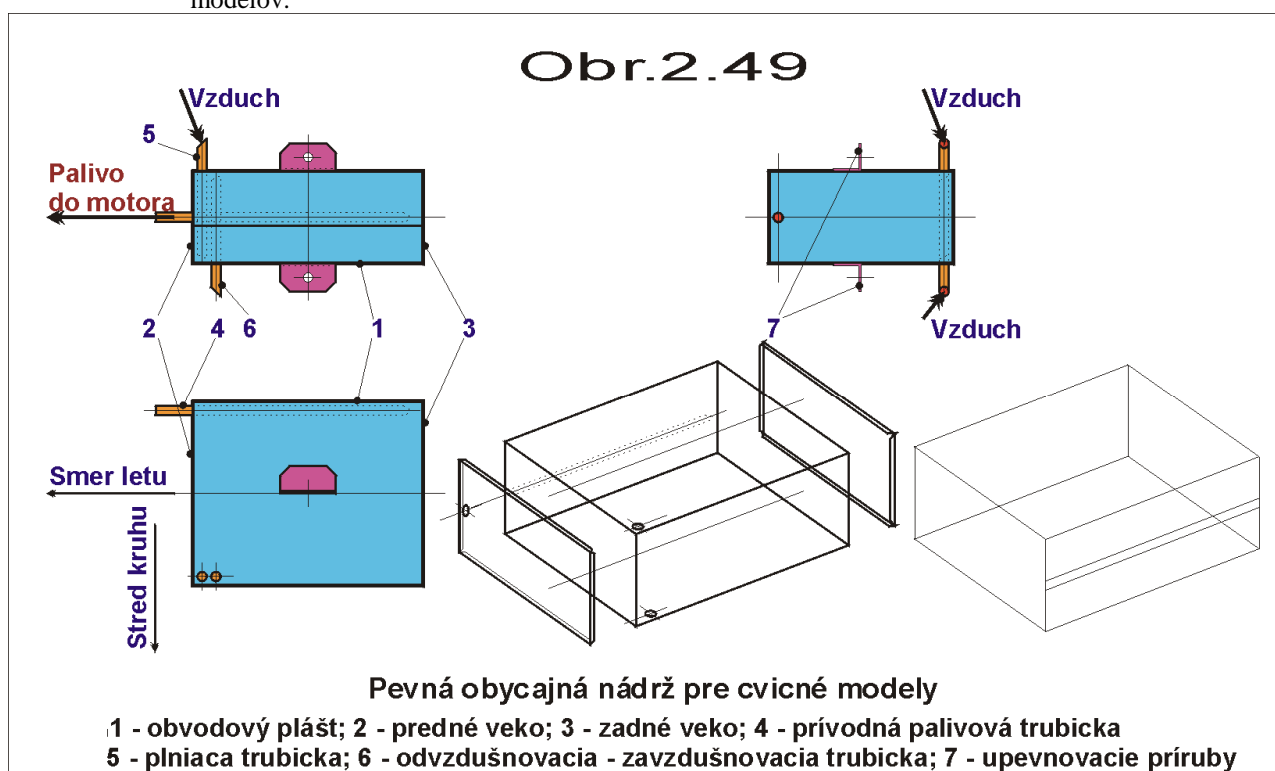
Pod pojmom konštrukcia nádrže rozumieme priestorové usporiadanie jednotlivých konštrukčných prvkov nádrže.

Konštrukcia nádrže musí zabezpečovať nasledovné základné požiadavky:

- rýchle a spoľahlivé naplnenie požadovaného množstva paliva,
- zamedzenie samovoľného vytekania paliva počas manipulácie s modelom na zemi a pri všetkých letových režimoch modelu,
- plynulá dodávka paliva do karburátora motora s minimálnou závislosťou dodávaného množstva od stupňa naplnenia nádrže,
- vhodná regulácia dodávaného množstva paliva v závislosti na letovom režime modelu.

Konštrukcia nádrže musí okrem týchto základných funkčných požiadaviek spĺňať ešte ďalšie požiadavky dobrej technologicnosti, dlhej životnosti a vysokej spoľahlivosti. Materiály použité na výrobu nádrže musia odolávať dlhodobému pôsobeniu paliva bez akéhokoľvek vplyvu na jeho chemické zloženie alebo čistotu.

Na **obr.2.49** je zobrazená konštrukcia jednoduchej pevnej nádrže, používanej u cvičných upútaných modelov.



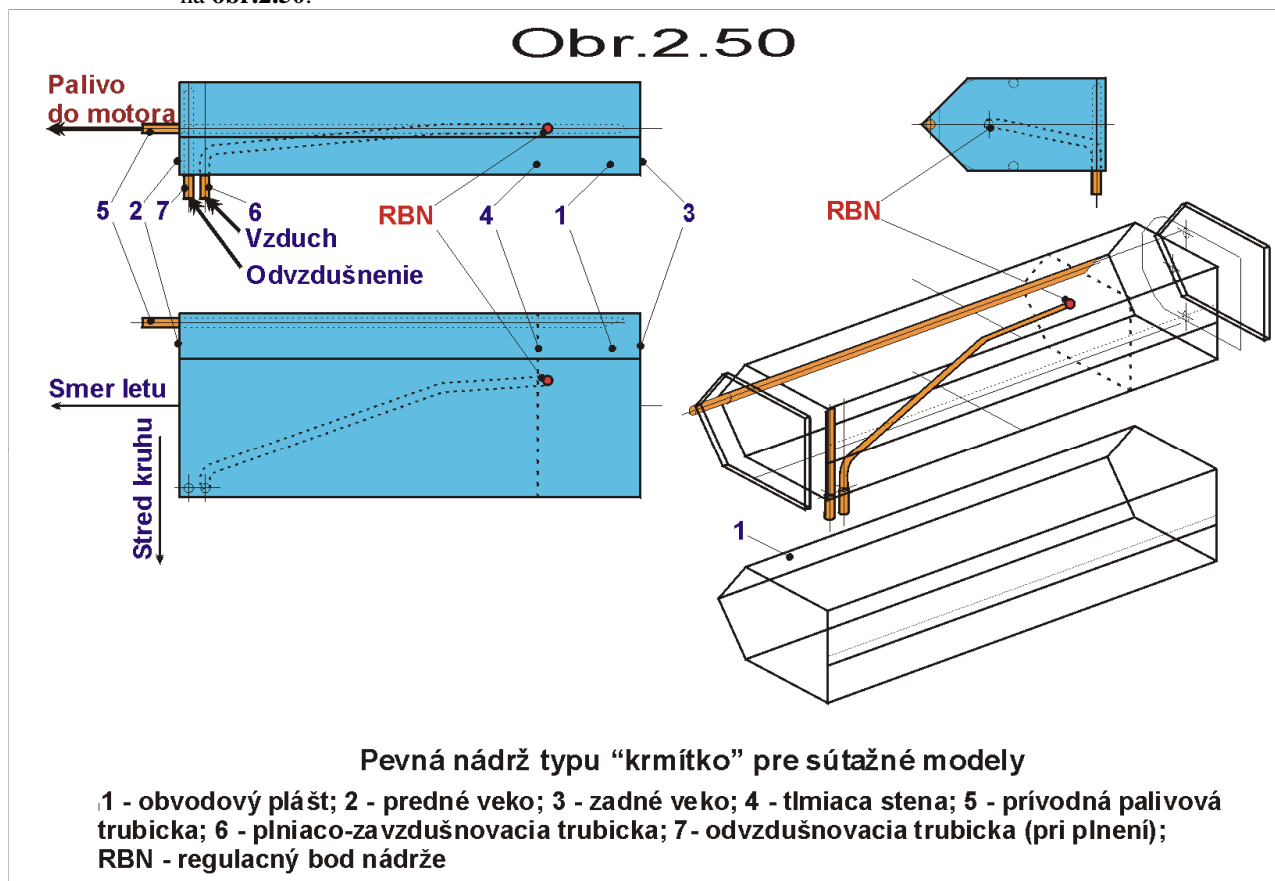
Plášť nádrže z oceleového pocínovaného alebo pozinkovaného plechu hrúbky 0,25 – 0,35 mm. Je zložený z obvodového plášťa (1), predného čela (2) a zadného čela (3). Skladba plášťa a jeho jednotlivých častí je zobrazený axonometricky. Spojenie koncov obvodového plášťa sa vždy umiestňuje na stenu obrátenú do stredu letového kruhu. Čelá sú pre zväčšenie stykovej plochy s plášťom olemované lemom o šírke 2 – 4 mm. Jednotlivé diely plášťa sú vzájomne spojené cínovou spájkou. Prívod paliva z nádrže do motora zabezpečuje mosadzná palivová trubička (4) zaspájkovaná do predného čela. Jej šikmo zrezaný koniec ústi pri zadnom čele nádrže a proti chveniu je zabezpečený prispájkovaním o plášť nádrže.

Mosadzná trubička (5) slúži na naplnenie nádrže palivom a zavzdušnenie nádrže pri lete modelu „na chrbte“. Mosadzná trubička (6) slúži na odvzdušňovanie nádrže pri jej plnení palivom a zavzdušnenie nádrže pri lete modelu v „normálnej“ letovej polohe.

Vzájomné presadenie plniacej a odvzdušňovacej trubičky zamedzuje vytekaniu paliva z nádrže. Vonkajšie konce trubičiek sú šikmo zrezané proti smeru prúdiaceho vzduchu. Bez tejto úpravy by prúdaci vzduch vysával palivo z nádrže rovnakým spôsobom ako pracuje fixírka.

Nádrž sa k trupu modelu pripevňuje pomocou príchytiek (7) vyhotovených z pocínovaného alebo pozinkovaného plechu hrúbky 0,30 – 0,40 mm, prispájkovaného k plášťu nádrže. Uvedené vyhotovenie je vhodné k upevneniu nádrže na plochý trup modelu (kat.ŠUM a cvičné modely). Uvedená nádrž môže

byť použitá ako beztlaková tak i pretlaková, ak po naplnení uzatvoríme trubičku (6) zátkou a trubičku (5) spojíme hadičkou so zdrojom tlaku – kľukovou skriňou alebo tlmičom výfuku motora. Výhodou takejto nádrže je jej jednoduchá konštrukcia. Regulačné vlastnosti sú však vyhovujúce iba pri malých rozmeroch (objem 30-50ccm) a preto sa používa iba u cvičných modelov a modelov *kat.ŠUM*. Pri väčších objemoch sú jej regulačné vlastnosti nevyhovujúce, nakoľko s poklesom hladiny klesá výrazne hydrostatický tlak paliva, čo má za následok citelne zníženie dodávky paliva v priebehu letu modelu. Taktiež rovné dno nádrže neumožňuje úplné spotrebovanie natankovaného paliva. Tieto nedostatky odstraňuje konštrukcia nádrže s podtlakovou reguláciou typu „*KRMÍTKO*“ uvedená na obr.2.50.



Plášť nádrže je zhodného vyhotovenia u nádrže predchádzajúcej. Obvodový plášť (1) je vytvarovaný na dne nádrže do tvaru striešky, ktorá umožňuje lepšie vyprázdnenie paliva ako u nádrže s plochým dnom. V obvodovom plášti je prispájkovaná tlmiaca stena (4) zabráňujúca prelievanie paliva pri prudkých zmenách smeru letu modelu. Plniaca trubička (6) ústí až pri prívodnej trubičke (5) a počas letu modelu plní aj zavzdušňovaciu funkciu. Odvzdušňovacia trubička (7) slúži iba na odvod vzduchu z nádrže počas jej naplňovania a po naplnení sa uzatvára zátkou. Počas letu modelu sa úbytok paliva nahrádza vzduchom privádzaným cez zavzdušňovaciu trubičku (7), ústiacu pod hladinou paliva. Hydrostatický tlak paliva však bráni vnikaniu vzduchu do nádrže cez zavzdušňovaciu trubičku až do toho okamihu, pokým pokles objemu paliva spotrebovaného motorom nevytvorí nad hladinou podtlak, zhodný s hydrostatickým tlakom stĺpca paliva nad výstupným otvorom trubičky (7). Tento výstupný otvor nazývame tiež „*regulačný bod nádrže*“ (skratka *RBN*). *RBN* plní regulačnú funkciu iba dovtedy, pokiaľ je ponorený pod hladinu paliva. K upevneniu nádrže do trupu modelu slúžia plechové príchytky (8).

Nádrže tohto typu, s podtlakovou reguláciou, nazývané tiež „*krmítko*“, sa pre svoje výborné regulačné vlastnosti používajú u modelov kategórií *F2B*, *F4B*, *ŠUM* a v niektorých prípadoch i u *F2D* a cvičných modelov.

Nájdenie optimálneho tvaru zavzdušňovacej trubičky a polohy *RBN* býva vo väčšine prípadov najprácejšou experimentálnou činnosťou pri zalietavaní modelu, smerujúcou k dosiahnutiu optimálneho chodu pohonnej jednotky vo všetkých letových režimoch modelu, hlavne pri dynamických zmenách letového režimu.

2.2.2.1.3 Konštrukcia pružných nádrží

Pružné nádrže sa začali používať u modelov kat.**F2D** koncom 70-tich rokov minulého storočia. Použitie pružných nádrží bolo jediným východiskom ako zabezpečiť plynulú dodávku paliva pre vysokovýkonné motory bez použitia rezonančného tlmiča. Tieto motory môžu dosiahnuť plný výkon iba pri veľkom nasávacom priereze difúzora, čo však znamená citeľný pokles podtlaku v difúzore a tým i pokles „sacej“ schopnosti motora.

Konštrukcia pružnej nádrže je veľmi jednoduchá, pozri **obr.2.51**

Obr.2.51



Pružná nádrž

1 - plášť nádrže (kojenecký cumlík); 2 - silná niť; 3 - nátrubok; 4 - prírodná trubička

Obr.2.52



Plniaco-škrtiaci ventil - F2C

Obr.2.53



Škrtiaci mechanizmus s odstredivým regulacným členom - F2B

Plášť nádrže z kojeneckého cumlíka (1) je pripevnená silnou niťou (2) svojim hrdlom na nátrubok (3) so zalisovanou palivovou trubičkou (4). Nádrž sa naplňa palivom pomocou veľkej injekčnej striekačky a po naplnení sa hadička spájajúca nádrž s difúzorom motora zovrie škrtiacimi kliešťami (peanom používaným v zdravotníctve). Toto zovretie sa uvoľní tesne pred naštartovaním motora.

2.2.2.2 Príslušenstvo palivovej nádrže

Príslušenstvo palivovej nádrže pozostáva zväčša iba z hadičky spájajúcej palivovú trubičku nádrže s difúzorom motora a z palivového filtra. V prípade použitia pevnej pretlakovej nádrže je súčasťou príslušenstva nádrže i hadička spájajúca zavzdušňovaciu trubičku nádrže so zdrojom tlaku, ktorým môže byť kľuková skriňa motora alebo ladený tlmič motora. U modelov kat.F2C je príslušenstvo nádrže rozšírené o špeciálny plniaco-škrtiaci ventil, pozri **obr.2.52**. Ten okrem plniacej funkcie (plnenia nádrže palivom) zabezpečuje i zastavenie prívodu paliva do motora po odblokovaní škrtiaceho člena ventilu ovládacím mechanizmom modelu v jeho krajnej polohe.

Obr.2.52

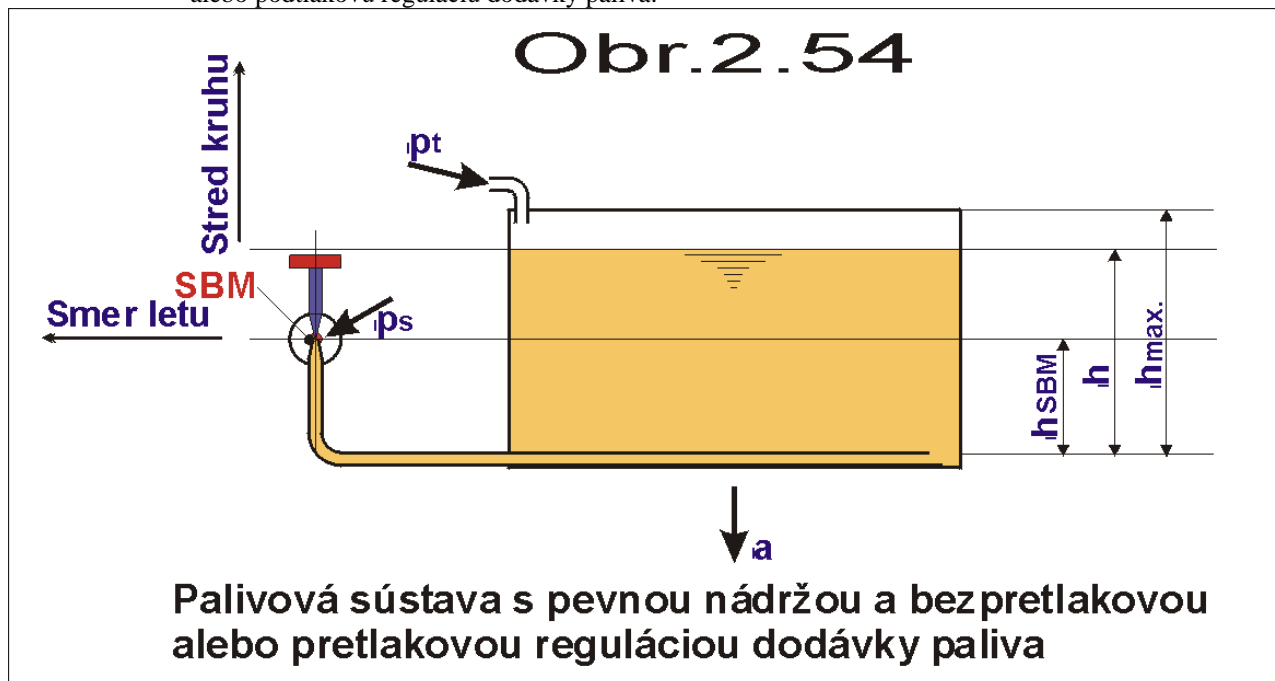
Samostatný škrtiaci mechanizmus sa začal používať v poslednom období i u modelov kat.F2B. Jeho odblokovanie nie je však odvodené od krajnej polohy ovládacieho mechanizmu ale od polohy pružne zaveseného závažia, ktorá závisí od veľkosti odstredivého zrýchlenia letiaceho modelu.

Obr.2.53

2.2.2.3 Regulačné vlastnosti palivovej sústavy

Ako už bolo povedané v kapitole 2.2.2, veľmi dôležitou vlastnosťou palivovej sústavy sú jej regulačné vlastnosti, t.j. schopnosť regulovať dodávku paliva do karburátora motora podľa potreby, súvisiacej s konkrétnym letovým režimom modelu.

Na **obr.2.54** je zjednodušene znázornená palivová sústava s pevnou nádržou, umožňujúcou beztlakovú alebo podtlakovú reguláciu dodávky paliva.



Množstvo dodávaného paliva Q môžeme vyjadriť nasledovným vzťahom:

$$Q = k_Q * \sqrt{a * (h - h_{SBM}) + \frac{p_t - p_s}{\rho}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad [\text{vzorec 2-29}]$$

- kde: k_Q - koeficient dodávaného množstva paliva
jeho hodnota je závislá na rozmeroch
a odporovom súčiniteli palivového potrubia
a trysky karburátora $[\text{m}^2]$
 a - výsledné zrýchlenie pôsobiace na palivovú
sústavu $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
 h - výška palivového stĺpca v nádrži v smere
zrýchlenia $[\text{m}]$
 h_{SBM} - výška sacieho bodu motora (**SBM**) v smere
zrýchlenia $[\text{m}]$
 p_t - relatívny pretlak privádzaný do nádrže
zavzdušňovacou trubičkou $[\text{Pa}]$
 p_s - relatívny podtlak v zúženom priereze
difúzora – sací podtlak $[\text{Pa}]$
 ρ - špecifická hmotnosť paliva $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

Ak predpokladáme, že k_Q a ρ sú konštanty, potom sa dodávané množstvo paliva bude meniť v závislosti na zmene každého a parametrov a , h , p_t i p_s .

Pri ustálenom letovom režime modelu (let v základnej letovej výške – horizonte) budú parametre a , p_t i p_s konštantné.

Na začiatku letového času, kedy bude nádrž plná, bude hladina paliva nad sacím bodom motora (**SBM**). Palivo bude dopravované do karburátora motora pretlakom $p_{max} = a \cdot (h_{max} - h_{SBM})$. ρ . Hovoríme, že nádrž pracuje v „spádovom režime“. Tomuto pretlaku bude zodpovedať i maximálne dopravované množstvo paliva:

$$Q_{max} = k_Q * \sqrt{a * (h_{max} - h_{SBM}) + \frac{p_t - p_s}{\rho}} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad [\text{vzorec 2-30}]$$

Postupným spotrebovávaním paliva bude klesať jeho hladina až do času, keď bude platiť: $h = h_{SBM}$. Vtedy sa bude palivo dostávať do karburátora motora iba pôsobením sacieho podtlaku p_s a tlaku p_t . Ďalším spotrebovávaním paliva bude klesať jeho hladina pod SBM , pričom bude platiť: $h = h_{SBM} < 0$. Ak hladina klesne až na úroveň ústia palivovej trubičky, bude palivo dopravované do difúzora motora podtlakom $p_{min.} = -a \cdot h_{SBM} \cdot \rho$. Hovoríme, že **nádrž pracuje v sacom režime**. Tomuto podtlaku bude zodpovedať i minimálne dopravované množstvo paliva:

$$Q_{min} = k_Q * \sqrt{-a * h_{SBM} + \frac{p_t - p_s}{\rho}} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad [\text{vzorec 2-31}]$$

Tento prípad však môže nastať iba vtedy, sk hodnota h_{SBM} neprekročí kritickú hodnotu:

$$h_{SBM} \leq \frac{p_t - p_s}{a * \rho} \quad [m] \quad [\text{vzorec 2-32}]$$

Príklad 1 Je potrebné stanoviť max.výšku h_{SBM} ak:

- sací podtlak motora $p_s = -30000Pa$ ($\approx -0,3$ atp)
- pretlak privádzaný do nádrže $p_t = 0$
- výsledné zrýchlenie $a = 36 m \cdot s^{-2}$
- špecifická hmotnosť paliva $\rho = 820 kg \cdot m^{-3}$

$$h_{SBM} \leq \frac{0 - (-30000)}{36 * 820}$$

$$h_{SBM} \leq 1,02m$$

Príklad 2 Je potrebné stanoviť max.výšku h_{SBM} ak:

- sací podtlak motora $p_s = -30000Pa$ ($\approx -0,3$ atp)
- pretlak privádzaný do nádrže $p_t = 50000Pa$ ($\approx 0,5$ atp)
- výsledné zrýchlenie $a = 36 m \cdot s^{-2}$
- špecifická hmotnosť paliva $\rho = 820 kg \cdot m^{-3}$

$$h_{SBM} \leq \frac{50000 - (-30000)}{36 * 820}$$

$$h_{SBM} \leq 2,71m$$

Ak pomer medzi minimálnym a maximálnym dodávaným množstvom paliva vyjadríme ako **koeficient regulácie dodávky paliva k_{RQ}** , môžeme jeho hodnotu vyjadriť vzťahom:

$$k_{RQ} = \frac{Q_{min}}{Q_{max}}$$

Po dosadení vzťahov 2.30 a 2.31 dostávame:

$$k_{RQ} = \frac{\sqrt{-a * h_{SBM} + \frac{p_t - p_s}{\rho}}}{\sqrt{a * (h_{max} - h_{SBM}) + \frac{p_t - p_s}{\rho}}} \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-33}]$$

- Ak bude $k_{RQ} = 0$, bude dodávka paliva klesať od maximálnej až po nulovú hodnotu. V tom prípade bude mať palivová sústava najnepriaznivejšie regulačné vlastnosti a pre praktické účely bude nepoužiteľná.
- Ak bude $k_{RQ} = 1$, bude dodávka paliva konštantná až do spotrebovania všetkého paliva nachádzajúceho sa nad ústím palivovej trubičky. V tom prípade bude mať palivová sústava ideálne regulačné vlastnosti, ktoré sú však v praxi nedosiahnuteľné.
- Praktická hodnota k_{RQ} sa bude pohybovať v rozsahu hodnôt **0 až 1**.

Príklad 3 Je potrebné stanoviť koeficient regulácie dodávky paliva, ak sú:

- sací podtlak motora $p_s = -30000Pa$ ($\approx -0,3$ atp)
- pretlak privádzaný do nádrže $p_t = 0Pa$ ($\approx 0,0$ atp)
- výsledné zrýchlenie $a = 36 m \cdot s^{-2}$
- špecifická hmotnosť paliva $\rho = 820 kg \cdot m^{-3}$
- $h_{max} = 0,050 m$

$$h_{SBM} = 0,025 \text{ m}$$

$$k_{RQ} = \frac{\sqrt{-36 * 0,025 + \frac{0 - (-30000)}{820}}}{\sqrt{36 * (0,050 - 0,025) + \frac{0 - (-30000)}{820}}} = 0,975$$

Aby bola dodávka paliva pri danom ρ a p_s minimálne závislá na poklese hladiny paliva a výslednom zrýchlení, musíme vytvoriť v nádrži pretlak p_t , alebo musíme eliminovať zmenu výšky hladiny vytvorením podtlaku vhodnej veľkosti nad hladinou paliva.

- Pretlak v nádrži môžeme vytvoriť použitím pružnej nádrže alebo privedením tlaku z kľukovej skrine alebo tlmiča motora.

Príklad 4 Je potrebné stanoviť koeficient regulácie dodávky paliva, ak do pevnej nádrže privedieme pretlak $p_t = 50000 \text{ Pa}$ ($\approx 0,5 \text{ atp}$). Ostatné podmienky sú zhodné s predchádzajúcim príkladom.

- výsledné zrýchlenie $a = 36 \text{ m.s}^{-2}$
- špecifická hmotnosť paliva $\rho = 820 \text{ kg.m}^{-3}$
- $h_{max} = 0,050 \text{ m}$
- $h_{SBM} = 0,025 \text{ m}$

$$k_{RQ} = \frac{\sqrt{-36 * 0,025 + \frac{50000 - (-30000)}{820}}}{\sqrt{36 * (0,050 - 0,025) + \frac{50000 - (-30000)}{820}}} = 0,991$$

Príklad 5 Je potrebné stanoviť koeficient regulácie dodávky paliva, ak do pevnej nádrže privedieme pretlak $p_t = 100000 \text{ Pa}$ ($\approx 1,0 \text{ atp}$). Ostatné podmienky sú zhodné s predchádzajúcim príkladom.

- výsledné zrýchlenie $a = 36 \text{ m.s}^{-2}$
- špecifická hmotnosť paliva $\rho = 820 \text{ kg.m}^{-3}$
- $h_{max} = 0,050 \text{ m}$
- $h_{SBM} = 0,025 \text{ m}$

$$k_{RQ} = \frac{\sqrt{-36 * 0,025 + \frac{100000 - (-30000)}{820}}}{\sqrt{36 * (0,050 - 0,025) + \frac{100000 - (-30000)}{820}}} = 0,994$$

Z porovnania hodnôt koeficientov regulácie dodávky paliva k_{RQ} v závislosti na pretlaku (uvedených v príkladoch 3 – 5) vidieť výrazný vplyv pretlaku p_t na zlepšenie regulačných vlastností palivového systému.

Ak sa zväčší hodnota výsledného zrýchlenia (zvýšením letovej rýchlosti modelu), zmenia sa i hodnoty koeficientov regulácie dodávky paliva. Zväčšením letovej rýchlosti na dvojnásobnú hodnotu sa zväčší odstredivé zrýchlenie na štvornásobok. Potom hodnoty k_{RQ} uvedené v príkladoch 3 – 5 sa zmenia nasledovne:

príklad 3	$k_{RQ} = 0,906$
príklad 4	$k_{RQ} = 0,964$
príklad 5	$k_{RQ} = 0,978$

Pre praktické účely môžeme stanoviť, že palivový systém má vyhovujúce regulačné vlastnosti, ak $k_{RQ} \geq 0,950$. Prítom hodnotu výsledného zrýchlenia stanovímezo vzťahu:

$$a = \frac{V^2}{r_{do}}$$

kde: V - je letová rýchlosť modelu [m.s^{-1}]
 r_{do} - je polomer letovej dráhy modelu [m]

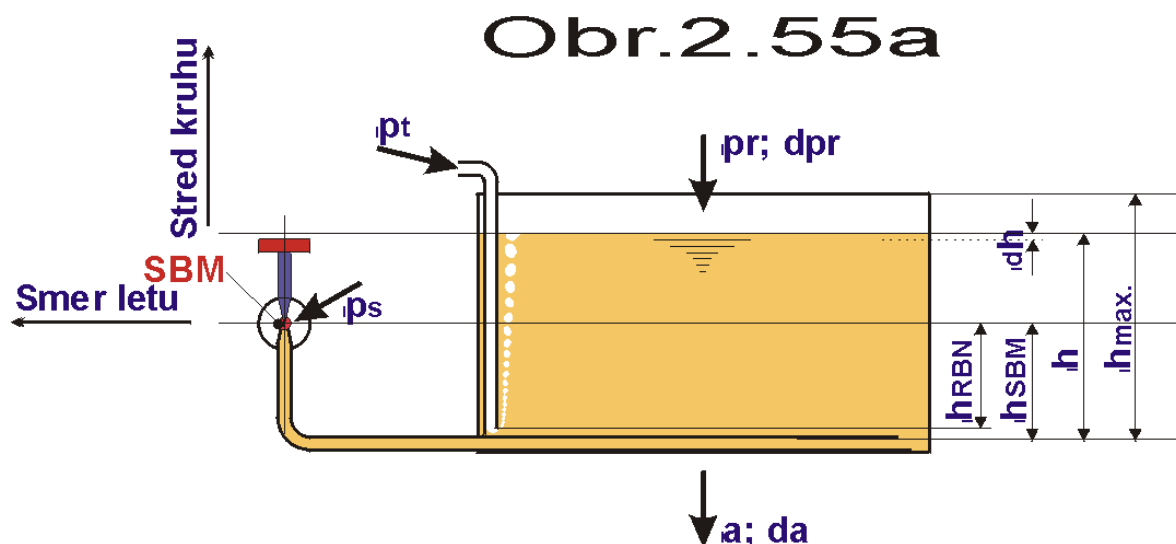
Po dosadení do vzťahu 2.33 dostaneme:

$$kRQ = \frac{\sqrt{\frac{V^2}{r_{do}} * h_{SBM} + \frac{p_t - p_s}{\rho}}}{\sqrt{\frac{V^2}{r_{do}} * (h_{max} - h_{SBM}) + \frac{p_t - p_s}{\rho}}} \geq 0,95 \quad [-] \quad [\text{vzorec 2-34}]$$

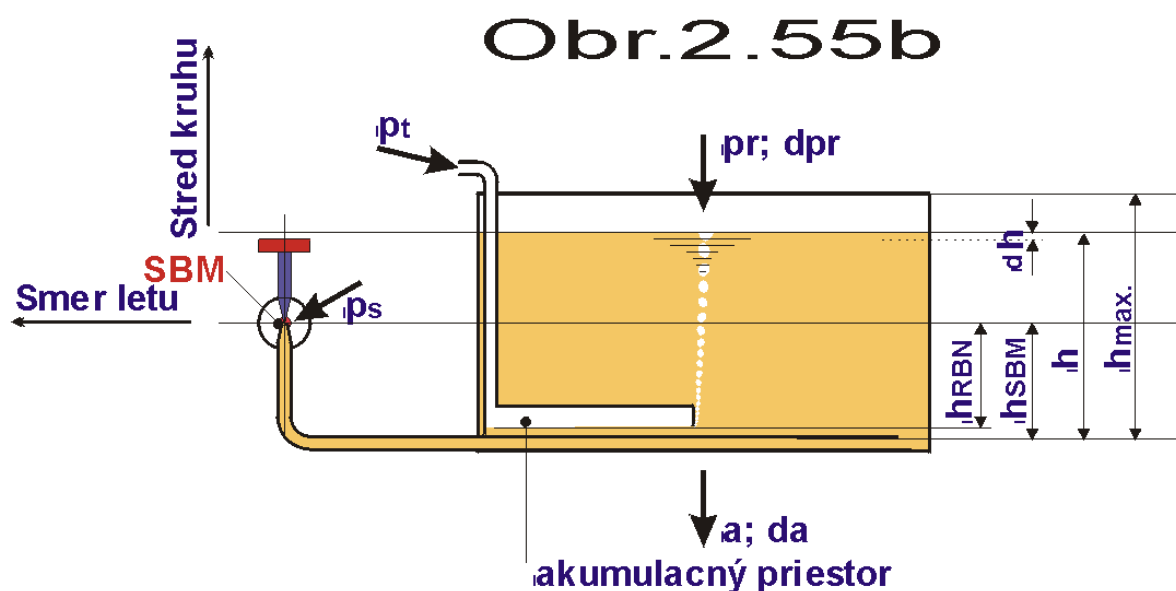
Poznámka:

V praktickom letovom režime modelu pôsobí zároveň ďalší regulačný faktor, ktorým je zvýšenie sacieho podtlaku p_s a pretlaku p_t s nárastom letovej rýchlosti modelu, závislej na otáčkach motora.

- Podtlak nad hladinou paliva vytvoríme tak, že zavzdušňovaciu trubičku ponoríme pod hladinu. Situácia je znázornená na **obr.2.55**



Palivová sústava s pevnou nádržou a podtlakovou reguláciou dodávky paliva



Palivová sústava s pevnou nádržou, podtlakovou reguláciou dodávky paliva a akumulacným priestorom

Pri ustálenom letovom režime modelu a z toho vyplývajúceho konštantného výsledného zrýchlenia sa pri postupnom spotrebovávaní paliva vytvorí nad hladinou paliva regulačný podtlak $p_r = (h_{RBN} - h) \cdot \rho \cdot a$ ktorý bude eliminovať hydrostatický tlak paliva nad regulačným bodom nádrže (RBN) dovtedy, pokiaľ bude platiť: $h > h_{RBN}$.

Ak bude $h_{RBN} > h_{SBM}$, bude nádrž pracovať v *spádovom režime*. Ak bude $h_{RBN} < h_{SBM}$, bude nádrž pracovať v *sacom režime* a v difúzore samosť vytvorí podtlak $p_{smin.} = (h_{RBN} - h_{SBM}) \cdot \rho \cdot a$.

Ak bude $h_{RBN} \approx 0$, bude koeficient regulácie dodávky paliva pri ustálenom letovom režime modelu prakticky rovný hodnote 1.

V prípade, že sa hodnota výsledného zrýchlenia náhle zväčší (lietanie akrobatických obrátov), poruší sa rovnováha medzi regulačným podtlakom p_r a odstredivou silou pôsobiace na palivo. Hladina paliva v nádrži začne klesať, za súčasného stúpania hladiny paliva v zavzdušňovacej trubičke. Čím táto hladina vystúpi vyššie, tým bude vyšší hydrostatický tlak paliva. Táto hladina vlastne reprezentuje skutočný *RBN*. Toto kolísanie hladiny má nepriaznivý vplyv na dynamické regulačné vlastnosti nádrže s podtlakovou reguláciou.

Hodnotu poklesu hladiny Δh , zabezpečujúceho zmenu regulačného tlaku Δp_r , potrebného pre dosiahnutie rovnováhy pri zmene zrýchlenia Δa , môžeme vyjadriť pomocou vzťahu:

$$\Delta h = \frac{h_{max} \cdot (k_h - 1) \cdot \rho \cdot \Delta a \cdot (h_{max} \cdot k_h \cdot h_{SBM})}{10^5 + \rho \cdot (\Delta a \cdot (h_{max} \cdot (1 - k_h) - h_{max} \cdot k_h + h_{SBM}) - h_{max} \cdot k_h \cdot a)} \quad [\text{m}] \quad [\text{vzorec 2-35}]$$

kde: k_h - koeficient naplnenia nádrže palivom

$$k_h = \frac{h}{h_{max}} \quad [-]$$

Δa - zmena výsledného zrýchlenia [m.s^{-2}]

Príklad 6 Je potrebné stanoviť pokles hladiny paliva v nádrži, ak:

$$h_{max} = 0,050 \text{ m}$$

$$h_{SBM} = 0,025 \text{ m}$$

$$h_{RBN} = 0,0 \text{ m}$$

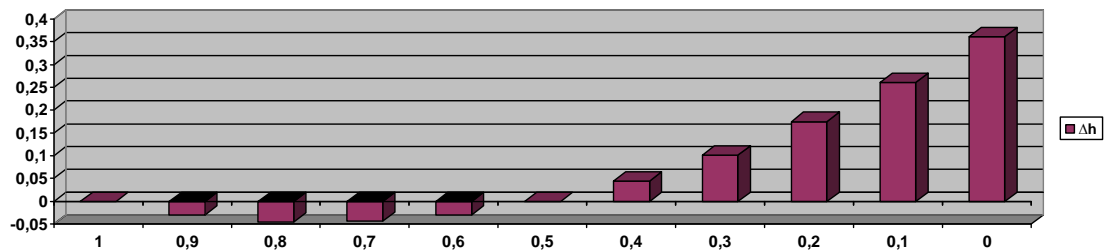
$$a = 36 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\Delta a = 36 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\text{pre } k_h = 1,0 \text{ až } 0,0$$

Vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke a nasledujúcom grafe.

k_h	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
Δh	0,0	-0,030	-0,045	-0,044	-0,030	0,0	0,044	0,102	0,175	0,261	0,361



Príklad 7 Je potrebné stanoviť pokles hladiny paliva v nádrži, ak:

$$h_{max} = 0,050 \text{ m}$$

$$h_{SBM} = 0,0 \text{ m}$$

$$h_{RBM} = 0,0 \text{ m}$$

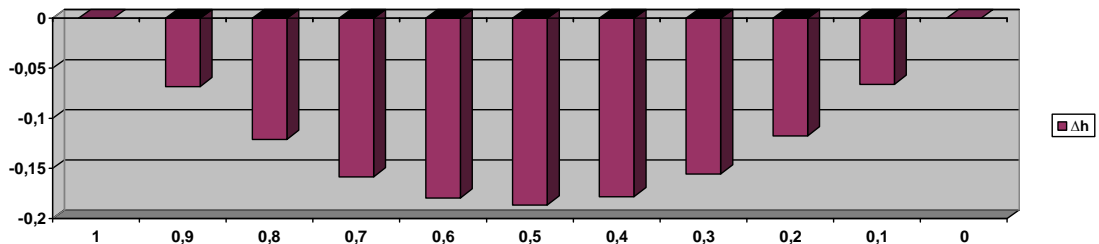
$$a = 36 \text{ m.s}^{-2}$$

$$-\Delta a = 36 \text{ m.s}^{-2}$$

pre $k_h = 1,0$ až $0,0$

Vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke a nasledujúcom grafe.

k_h	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
Δh	0,0	-0,068	-0,121	-0,158	-0,179	-0,186	-0,178	-0,155	-0,117	-0,066	0,0



Z rozboru hodnôt poklesu hladiny Δh , vypočítaných v príkl.č.6 a 7, vyplývajú pre palivové sústavy s pevnou nádržou a podtlakovou reguláciou dodávky paliva nasledovné závery:

- a – $h > h_{SBM}$ (hladina paliva je nad úrovňou SBM)
 - **nárast** výsledného zrýchlenia spôsobí pokles hladiny paliva v nádrži, resp. zvýšenie hydrostatického tlaku paliva v **RBN** i **SBM** a zvýšenie dodávky paliva do karburátora motora – otáčky motora poklesnú,
 - **pokles** výsledného zrýchlenia spôsobí stúpnutie hladiny paliva v nádrži, resp. zníženie hydrostatického tlaku paliva v **RBN**, ktoré sa však vyrovná preniknutím vzduchu cez zavzdušňovaciu trubičku, takže hydrostatický tlak v **RBN** i **SBM** sa prakticky nezmení a dodávka paliva do karburátora motora zostane na pôvodnej hodnote. Až následný nárast výsledného zrýchlenia spôsobí opätovne pokles hladiny, resp. stúpnutie hydrostatického tlaku paliva v **RBN** i **SBM** a zvýšenie dodávky paliva do karburátora motora – otáčky motora poklesnú.
- b – $h = h_{SBM}$ (hladina paliva je na úrovni SBM)
 - **zmena** výsledného zrýchlenia bude mať vplyv iba na zmenu hydrostatického tlaku paliva v **RBN**, hydrostatický tlak v **SBM** bude prakticky bez zmeny a dodávka paliva do karburátora motora bude bez zmeny,
- c – $h < h_{SBM}$ (hladina paliva je pod úrovňou SBM)
 - **nárast** výsledného zrýchlenia spôsobí stúpnutie hladiny paliva v nádrži, resp. pokles hydrostatického tlaku paliva v **SBM** (zvýšenie podtlaku) a zvýšenie dodávky paliva do karburátora motora – otáčky motora poklesnú,

- **pokles** výsledného zrýchlenia spôsobí pokles hladiny paliva v nádrži, resp. stúpnutie hydrostatického tlaku paliva v **SBM** (zníženie podtlaku) a zvýšenie dodávky paliva do karburátora motora – otáčky motora poklesnú.

Nepriaznivé dynamické regulačné vlastnosti pohonnej sústavy s podtlakovou reguláciou, spôsobenej zmenou hydrostatického tlaku paliva pri zmene výsledného zrýchlenia, sa dajú eliminovať konštrukčnou úpravou nádrže, znázornenou na **obr.2.55b**. Na dne nádrže je vytvorený akumulčný priestor s objemom 3 až 55% objemu nádrže, umožňujúcu akumuláciu “prebytočného” paliva pri poklese hladiny spôsobenom nárastom výsledného zrýchlenia.

Predchádzajúce rozboru regulačných vlastností palivových systémov boli vykonané pre zjednodušené podmienky za predpokladu, že smer výsledného zrýchlenia sa voči palivovému systému nemení.

2.3 Púťacie zariadenie

Púťacie zariadenie je tvorené púťacími lankami (drôťmi) a rukoväťou.

2.3.1 Púťacie lanká

Púťacie lanká spájajú ovládací mechanizmus modelu (kapitola 2.1.5) s ovládacou rukoväťou. Prenášajú odstredivé sily letiaceho modelu, bočné aerodynamické sily na trup modelu a ovládacie sily prenášané z ovládacej rukoväte na ovládací mechanizmus.

Nároky na vlastnosti púťacích laniek sú protichodné:

- **Dostatočná pevnosť**, súvisí s plnením prioritnej úlohy púťacích laniek – bez poruchy preniesť silové pôsobenie medzi hmotou letiaceho modelu (akciou) a púťacou rukoväťou (reakciou). Plnenie tejto najdôležitejšej vlastnosti sa na kontinentálnych a svetových súťažiach skúša pred každým súťažným letom stanoveným spôsobom. Skúšky sú tým dôkladnejšie, čím modely danej kategórie lietajú rýchlejšie.
- **Dostatočná ťahová tuhosť** (čo najmenšie predĺženie laniek vplyvom zaťažujúcej sily), súvisí so zabezpečením dobrej kinematickej ovládateľnosti kormidiel, t.j. minimálneho skreslenia prenosu výchyliek z ovládacej rukoväte na ovládací mechanizmus.
- **Malý aerodynamický odpor**, súvisí s plnením požiadavky minimálneho priehybu púťacích laniek spôsobeného aerodynamickým odporom. Veľký priehyb laniek totiž spôsobuje identický nepriaznivý efekt ako nízka ťahová tuhosť laniek.
- **Malá hmotnosť**, súvisí s plnením požiadavky minimálneho priehybu a kmitania púťacích laniek spôsobeného zotrvačnými silami súvisiacimi so zmenou smeru pohybu modelu pri lietaní akrobatických obrátov. Veľké zotrvačné sily laniek totiž zhoršujú dynamickú ovládateľnosť modelu.
- **Dlhá životnosť a vysoká spoľahlivosť** sú doplnujúce nevyhnutné vlastnosti púťacích laniek, zaručujúce minimalizáciu rizika ich poškodenia a zničenia modelu.

Požiadavky na pevnosť a tuhosť sú protichodné požiadavkám malého aerodynamického odporu a hmotnosti. Z toho vyplýva, že materiál laniek musí mať vysokú pevnosť a tuhosť, čo zároveň zaručuje ich minimálny priemer a hmotnosť. Zároveň však musí byť aj dostatočne húževnatý, čo lankám zaručuje dlhú životnosť a spoľahlivosť aj pri extrémnych podmienkach používania. V nasledujúcej tabuľke sú odporúčané parametre púťacích laniek v závislosti od kategórie a hmotnosti modelu.

kategória	F2A RÝCHLOSTNÉ	F2B AKROBATICKE	F2C TÝMOVÉ	F2D COMBAT	F4D MAKETY
Priemer [mm]	0,40-0,011	0,35 až 0,50	0,30-0,011	0,385-0,011	0,30 až 0,60
Dĺžka [m]	17,69+-0,025	15,00 až 21,50	15,92+-0,025	15,92+-0,04	15,00 až 21,50
Zaťaženie [N]	30 x hmotnosť	15 x hmotnosť	20 x hmotnosť	20 x hmotnosť	20 x hmotnosť
Max. limit [N]	250	200	140	150	300
Počet skúšok	3x	1x	1x	1x	1x

- **Priemer laniek** je u kategórií **F2A**, **F2C** a **F2D** stanovený zhodne z dôvodu zabezpečenia jednotných podmienok - aerodynamického odporu a bezpečnosti. U kategórií **F2B** a **F4B** nieje tento parameter striktné stanovený.
Pozn.: V USA je priemer laniek vzťahnutý k objemu motora.
- **Dĺžka laniek** je u kategórií **F2A**, **F2C** a **F2D** stanovený zhodne z dôvodu zabezpečenia jednotných podmienok – rovnakého obvodu letovej dráhy. U kategórií **F2B** a **F4B** nieje tento parameter podstatný. Maximálna dĺžka drôtov je tu limitovaná priestorovými možnosťami športovísk.

Pod pojmom „dĺžka laniiek“ nie je myslená ich skutočná fyzická dĺžka ale vzdialenosť od rukoväte po os trupu modelu (os kľukového hriadeľa motora).

- **Skúšobné zaťaženie laniiek** je odvodené od hmotnosti modelu a je zároveň limitované. Násobky, limity a počty skúšobných ťahov sú pre jednotlivé kategórie presne špecifikované z dôvodu zabezpečenia primeranej bezpečnosti lietania.

VYHOTOVENIE - ZÁSADY

- **Pútacie lanká sa vyhotovujú z jedného kusa oceľového lanka**, resp.drôtu dvojnásobnej dĺžky, rozdeleného na dve polovičky. Tento postup zabezpečuje identický priemer, povrchové parametre aj hmotnosť oboch laniiek.
- **Je nevhodné použiť lanká s rôznou povrchovou úpravou** (pokovenie...) i keď je jej hrúbka prakticky nemerateľná.
- **Veľmi dôležité je kvalitné vyhotovenie koncoviek laniiek - očiek**, ktoré slúžia ku ich spojeniu s ovládacou rukoväťou a ovládacími drôtmi ovládacieho mechanizmu modelu, pomocou spojok - karabín. **Očká musia byť vyhotovené tak aby minimálne znížovali statickú i dynamickú únosnosť ako i životnosť laniiek. Dôležitý je postupný prechod prierezu z voľnej časti lanka do očka, čo zvlášť výrazne pozitívne ovplyvňuje dynamickú únosnosť.** Najpoužívanejšie konštrukčné prevedenie očiek je znázornené na **obr.2.28-c** s použitím kovovej kladky, okolo ktorej sa lanko ovinie. Kladka prenáša veľké stykové sily (10 – 15 kg) a chráni tak vlastné lanko proti rýchlemu poškodeniu. **K fixácii lanka sa zásadne nepoužíva spájkovanie** ale iba ovinutie mäkkým medeným alebo oceľovým viazacím drôtom priemery 0,15 – 0,25. Ku konečnému zaisteniu spoja postačuje zalepenie 5-minútovým epoxidovým lepidlom.
- **Obe koncovky jedného lanka farebne označíme** (červeným lakom na nechty). Takto označené lanko **montujeme vždy na rovnaký drôt ovládacieho mechanizmu a rovnaké očko ovládacej rukoväte.** Dodržiavaním tejto zásady sa vyhneme veľmi nebezpečnému „rozladeniu“ ovládania modelu, ktoré môže v krajnom prípade viesť až k jeho havárii. Je to spôsobené skutočnosťou, že bežný rozdiel dĺžky oboch laniiek môže dosiahnuť až niekoľko mm. Rozdiel dĺžok dobre „zalietaných“ laniiek sa pohybuje v desatinách mm, čo sa dosahuje vhodnými nastaviteľnými prvkami.

2.3.2 Ovládacia rukoväť

Ovládacia rukoväť je dôležitou časťou celého ovládacieho reťazca: rukoväť, lanká, ovládací mechanizmus.

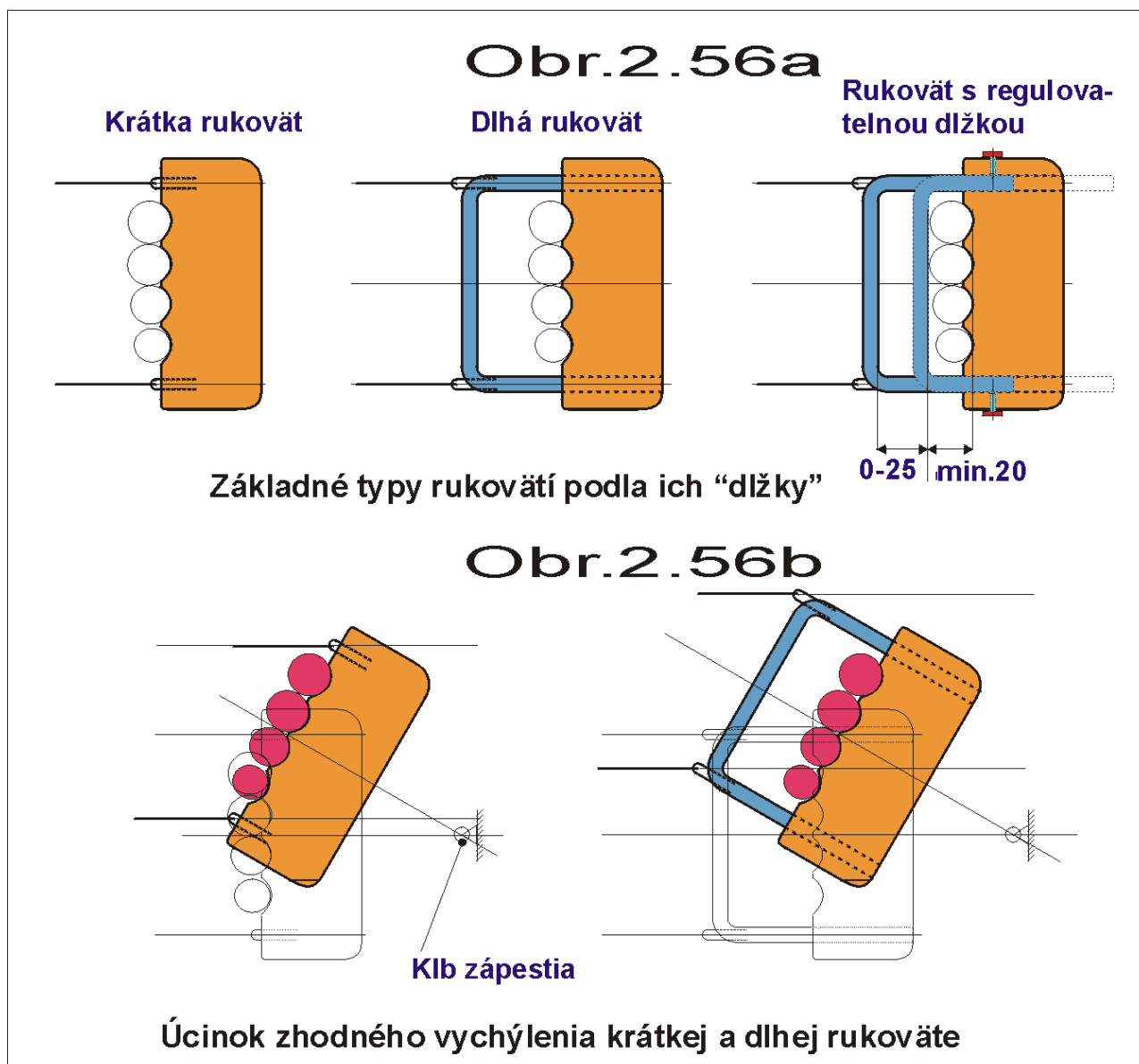
Nároky na ovládaciu rukoväť:

- **Dostatočná pevnosť**, súvisí s plnením dôležitej úlohy – bez poruchy preniesť silové pôsobenie medzi pútačmi lankami a rukou modelára – pilota. Plnenie tejto najdôležitejšej vlastnosti sa na kontinentálnych a svetových súťažiach skúša zhodne ako u pútačích laniiek.
- **Dostatočná tuhosť**- čo najmenšie deformácie vplyvom zaťažujúcich síl.
- **Ergonomický dizajn**, súvisí s dôležitou požiadavkou dobrého „sedenia“ rukoväte v ruke pilota. Vychádza zo zásady dobrého úchopu, rovnomerného rozloženia záťaže na prsty pilota a vhodných pocitov pilota, pomocou ktorých vníma model. Nakoľko je **správne vnímanie rukoväte najdôležitejším parametrom v procese ovládania upútaného modelu**, treba mu venovať zodpovedajúcu pozornosť. Dá sa povedať, že dobrá rukoväť je polovica úspechu. U kategórie **F2B** je bežné, že rukoväť si modelár ponecháva bez zmien mnoho rokov, vo veľkej časti i celú športovú kariéru.
- **Dlhá životnosť a vysoká spoľahlivosť** sú doplnujúce nevyhnutné vlastnosti rukoväte, zaručujúce minimalizáciu rizika zničenia modelu.

VYHOTOVENIE - ZÁSADY

- Ovládacia rukoväť sa vyhotovuje zväčša **z jedného kusa oceľového resp. duralového plechu**, tvoriaceho pevnostné jadro.
- Na toto jadro sa prirába úchopová časť z rôznych materiálov. Tieto sú vytvarované tak, **aby zabezpečovali bezpečný a dobre vnímateľný úchop.**
- Povrchová úprava musí tiež **zabezpečovať dobrý úchop** (primeraná drsnosť povrchu) i **dlhú životnosť** v mokrom i agresívnom prostredí (voda, oleje, metylalkohol...).
- Dôležitou súčasťou ovládacej rukoväte sú pripevňovacie prvky pútačích laniiek. Spojenie sa bežne realizuje **rozopínateľnými karabínkami**, ktoré musia umožňovať **bezproblémový pohyb v dierkach** resp. očkách rukoväte. Taktiež musia **garantovať bezpečné zopnutie** i pri tých najväčších zaťaženiach.
- **Karabínky** okrem silovej funkcie môžu zabezpečovať i **funkciu „ladenia dĺžky“ laniiek.**

- Funkcia „ladenia dĺžky“ laniok sa často realizuje aj pomocou regulačných prvkov ovládacej rukoväte. Najpoužívannejšie konštrukcie sú zobrazené na obr.2.56



3 Stavba upútaných modelov lietadiel

3.1 Stavba upútaných modelov lietadiel podľa národných pravidiel SR

Hlavným zmyslom lietania s modelmi postavenými podľa národných stavebných a súťažných pravidiel je príprava začínajúcich modelárov na ich budúcu športovú činnosť či už súťažnú alebo nesúťažnú. Modely postavené podľa týchto pravidiel sú materiálovo, stavebne a finančne nenáročné. V triede upútaných modelov sú definované 4 kategórie.

- 3.1.1 **RODEO 2 a RODEO 2,5** – rýchlostné modely
- 3.1.2 **UŠ** – upútané školné akrobatické modely
- 3.1.3 **UTR** – tímové modely s plochým trupom, poháňané samozápalným motorom
- 3.1.4 **ŠUM** – športové upútané polomakety

Konkrétne znenie pravidiel pre uvedené kategórie je možné nájsť na internetovej stránke www.controlline.sk/

3.2 Stavba upútaných modelov lietadiel podľa medzinárodných pravidiel CIAM FAI

Medzinárodné stavebné a súťažné pravidlá vydáva a aktualizuje medzinárodná modelárska organizácia CIAM FAI so sídlom v Paríži. V triede upútaných modelov je definovaných 5 kategórií.

- 3.1.5 **F2A** - rýchlostné modely

- 3.1.6 F2B - akrobatické modely
- 3.1.7 F2C - tímové modely
- 3.1.8 F2D - modely pre súboj (COMBAT)
- 3.1.9 F4B – makety

Konkrétne znenie pravidiel pre uvedené kategórie je možné nájsť na internetovej stránke www.controlline.sk/

4 Povrchová úprava modelov

Táto kapitola bude vydaná ako samostatný doplnok, obsahovo vyskladaný z príspevkov špičkových modelárov – akrobatárov, ktorým touto cestou vopred ďakujem.

Osnova kapitoly:

4 Povrchová úprava modelov

4.1 Konštrukcie s papierovým potťahom

- 4.1.1 Príprava podkladu pred potťahovaním
- 4.1.2 Lepenie potťahu
- 4.1.3 Príprava potťahu pod vrchnú farbu (email)
- 4.1.4 Nanášanie vrchnej farby - emailu
- 4.1.5 Úprava povrchu vrchnej farby
- 4.1.6 Farebné doplnky

4.2 Konštrukcie s plátenným potťahom

- 4.2.1 Príprava podkladu pred potťahovaním
- 4.2.2 Lepenie potťahu
- 4.2.3 Príprava potťahu pod vrchnú farbu (email)
- 4.2.4 Nanášanie vrchnej farby
- 4.2.5 Úprava povrchu vrchnej farby
- 4.2.6 Farebné doplnky

4.3 Konštrukcie s potťahom z umelohmotných fólií

- 4.3.1 Príprava podkladu pred potťahovaním
- 4.3.2 Lepenie potťahu
- 4.3.3 Príprava potťahu pod vrchnú farbu (email)
- 4.3.4 Nanášanie vrchnej farby
- 4.3.5 Úprava povrchu vrchnej farby
- 4.3.6 Farebné doplnky

4.4 Konštrukcie s laminátovým potťahom

- 4.4.1 Príprava podkladu pred potťahovaním
- 4.4.2 Lepenie potťahu
- 4.4.3 Príprava potťahu pod vrchnú farbu (email)
- 4.4.4 Nanášanie vrchnej farby
- 4.4.5 Úprava povrchu vrchnej farby
- 4.4.6 Farebné doplnky

4.5 Konštrukcie s kovovým potťahom

- 4.5.1 Príprava podkladu pred potťahovaním
- 4.5.2 Lepenie potťahu
- 4.5.3 Príprava potťahu pod vrchnú farbu (email)
- 4.5.4 Nanášanie vrchnej farby
- 4.5.5 Úprava povrchu vrchnej farby
- 4.5.6 Farebné doplnky

5 Lietanie s upútanými modelmi

5.1 Potreby pre lietanie

Potreby pre lietanie s upútanými modelmi môžeme rozdeliť podľa dôležitosti na nasledovné základné skupiny

- hlavné
 - model
 - pútačné drôty
 - ovládacia rukoväť
 - vrtula
 - palivo
 - tankovacia fľaša
 - podstrekovacia striekačka (2 ccm)
 - žhaviaca batéria (pre "žhavíky")
- pomocné
 - stopky
 - otáčkomer
 -
- náhradné
 - vrtula
 - žhaviace sviečky (pre "žhavíky")
 - pútačné drôty
- montážne náradie
- čistiace prostriedky
- osobné ochranné pomôcky

Okrem modelu sa zväčša všetky uvedené potreby balia do kufríka ("basy"), vybavenej rôznymi doplnkami zabezpečujúcimi bezpečné a prehľadné usporiadanie uložených potrieb.

5.2 Zalietavanie modelov

Zalietavanie modelov je po stavbe najdôležitejšia a zároveň najháklivejšia etapa zrodu modelu.

- Pre začínajúcich modelárov je viacmenej nevyhnutné, aby im model zalietal skúsený modelár. Je to jednoduchá ochrana pred zbytočným poškodením, resp. zničením modelu.
- Pre pokročilých modelárov je proces zalietavania modelu viac menej známy, vlastné mnohoročné skúsenosti ma však oprávňujú pripomenúť najdôležitejšie zásady a pravidlá, ktorých dodržiavanie zabezpečuje bezpečnú a pomerne rýchlu cestu k dosiahnutiu optimálneho nastavenia a vyváženia modelu.

5.2.1 Príprava modelu pred zalietaním - môže byť vykonané doma

Obsahom prípravy modelu pred zalietaním je:

- očistenie a namazanie:
 - pánťov pohyblivých plôch – výškovky a vztlakových klapiek,
 - spojení pák a tiahel,
 - vývodov ovládacích drôtov z krídla,
 - čapov kolies,
- kontrola upevnenia:
 - častí draku modelu (krídla s trupom, ...)
 - motora v trupe,
 - tlmiča výfuku s motorom resp. s trupom (u dlhých ladených výfukov),
 - nádrže v trupe,
 - podvozkových nôh s trupom,
 - kolies na čapoch,
- kontrola a nastavenie:
 - základnej polohy výškovky a vztlakových klapiek,
 - symetrie výchyliek výškovky a vztlakových klapiek,
- pozdĺžne a priečne vyváženie,
- kontrola a nastavenie odklonu modelu pri statickom vísení na ovládacích drôtoch.

Zodpovedné a kvalitné vykonanie uvedených prípravných činností je základným predpokladom úspešného praktického zalietania modelu.

5.2.2 Vlastné praktické zalietavanie modelu – vykonáva sa na letisku

- **Predletová príprava:**
 - upevnenie letovej vrtule, resp. vrtuľového kužela,
 - spojenie pútačích laniek s ovládacími drôtmí a ovládacou rukoväťou a kontrola správneho zmyslu spojenia („hore“, „dole“),
 - silová kontrola pútačích laniek,
 - očistenie pútačích laniek,
 - kontrola žhaviacej schopnosti akumulátora a štart motora na podstreknutie,
 - natankovanie paliva,
 - presun modelu do letového hruhu,
 - štart motora, kontrola reakcie na otáčanie regulačnej ihly a nastavenie vhodných otáčok
- **Hlavné úlohy pri zalietaní:**
 - dosiahnuť optimálne priečne vyváženie (odklon krídla) pridávaním (uberaním) závažia v koncovom oblúku krídla,
 - dosiahnuť symetrický odklon krídla krútením náhonu vztlakových klapiek,
 - doladiť rozdiel dĺžky pútačích drôtov regulačným členom (karabínkou) tak, aby bolo riadenie kormidiel pocitovo symetrické,
 - doladiť výškovú polohu nádrže tak, aby bol chod motora pri „ťahových“ i „tlačných“ obratoch zhodný,
 - doladiť dĺžku ladeného tlmiča výfuku tak, aby motor pracoval v optimálnom režime,
 - dosiahnuť optimálne pozdĺžne vyváženie pridávaním (uberaním) závažia „do čumáku“ resp. „do chvosta“ trupu modelu,
 - doladiť vzájomný pomer výchyliek výškovky a vztlakových klapiek s cieľom dosiahnuť dobrú ovládateľnosť – citlivosť na pohyby ovládacej rukoväte,
 - doladiť odklon trupu posunom polohy vývodu ovládacích drôtov a vychyl'ovaním smerovky.

To sú hlavné úlohy zoradené v chronologickom slede, podľa priorit. Je potrebné dodať, že každá zmena uvedených parametrov bude mať okrem priameho dôsledku i odvodené dôsledky. Napríklad, zmena vzájomnej polohy vztlakových klapiek a výškovky zmení symetriu ovládateľnosti modelu, symetriu chodu motora a bežne i symetriu odklonu krídla. **Odpoveď na otázku „čo a o koľko“ sa dá získať iba praktickým zalietaním, t.j. postupným vytrvalým skúšaním reakcií modelu na navodené zmeny parametrov.**

➔ **Pri zalietaní platí veľmi dôležitá zásada, podľa ktorej vykonáme súčasne iba jednu zmenu, ktorú podľa možnosti overíme počas dvoch až troch štartov.**

Z uvedeného vyplýva veľká praconosť tejto etapy, ktorá bežne, i špičkovým modelárom, trvá niekoľko desiatok (stoviek) štartov.

➔ **Taktiež je potrebné pripomenúť, že každý modelár zalietava model tak, aby regulačné vlastnosti modelu vyhovovali jeho naturelu. Zjednodušene povedané, jeden modelár riadi model „citlivo“, iba jemnými pohybmi prstov, pokým iný modelár riadi model „silovo“, silovým pohybom zápästia resp. celého predlaktia.**

Bol som svedkom viacerých situácií, keď sa špičkoví akrobatári pokúšali letieť s cudzím modelom. Vždy to so sebou nieslo vysoké riziko rozbitia modelu hlavne v prípadoch, keď „náhradný“ pilot bol zo skupiny „citlivých“ a model bol zalietaný „silovo“. Takúto situáciu som zažil aj na vlastnej koži. Lietanie som veľmi rýchlo prerušil a hodnú chvíľu som to rozdýchaval.

➔ **Dobre zalietaný model by mal mať nasledovné vlastnosti:**

motor

- spoľahlivo sa štartuje (na prvý pokus),
- spoľahlivo sa ladí,
- má konštantnú spotrebu (motorový čas s toleranciou cca 5 – 10 sec),
- udržiava stabilnú rýchlosť letu v rovine počas jedného kola i počas celého letu,
- primerane akceleruje v stúpavých fázach letu,
- primerane deceleruje (brzdí) v klesavých fázach letu,

model

- spoľahlivo a plynulo štartuje a pristáva,
- primerane citlivo reaguje na pohyby ovládacej rukoväte,
- stabilne lieta rovné úseky i pri silnejšej turbulencii,
- pekne „kreslí“ guľaté obraty, s minimálnou nutnosťou korekcií,
- primerane ľahko „láme“ hrany hranatých figúr, pri dostatočne smerovo stabilnom výlete,
- udržuje rovnaký rytmus opakovaného lietania obratu.

I keď sú vlastnosti rozdelené do dvoch skupín, praxou je jednoznačne overené pravidlo:

➔ **Bez dobre „chodivého“ motora niet dobre „lietavého“ modelu.**

Z uvedeného vyplýva, že výberu motora je potrebné venovať tú najväčšiu pozornosť a dôležitosť. Až dosiahnutie uspokojivej úrovne uvedených vlastností je predpokladom pre efektívny tréning.

5.3 Tréningové lietanie

Cieľom tréningového lietania je získanie správnych návykov pri prípravných, predletových, letových a poletových činnostiach.

- **Prípravné činnosti** sa vykonávajú zväčša doma (v dielni). Pozostávajú z kontroly:
 - kompletnosti modelu,
 - vybavenia „basy“ letovými potrebami, hlavne lanami, rukoväťou, žhavítkom, vrtulami, palivom a ostatným náradím.
- **Predletové činnosti** sa vykonávajú zväčša v bezprostrednej blízkosti letového kruhu – v depe. Dôležité je tento priestor viditeľne označiť tak, aby sa zabránilo pohybu cudzích osôb v tomto priestore, čím sa vyvarujeme nepríjemným prekvapeniam v podobe zničených resp. poškodených pútačích lán. Vlastné činnosti sú:
 - montáž modelu a vrtule,
 - prebehnutie motora „na podstrek“,
 - montáž laniek a rukoväte s kontrolou správneho zmyslu pohybu kormidiel,
 - ťahová skúška laniek,
 - očistenie laniek,
 - natankovanie paliva,
 - doplnenie striekačky na podstrek,
 - príprava stopiek, otáčkomeru a nevyhnutných čistiacich prostriedkov ako i osobných ochranných pomôcok,
 - posledné predletové úvahy o tom čoho sa treba vyvarovať, na čo treba dávať pozor pri lietaní.
- **Letové činnosti** sa vykonávajú bezprostredne pred vlastným letom a počas neho. Pozostávajú z:
 - presunu modelu do letového kruhu, do pozície vhodnej na aktuálny smer vetra,
 - kontroly správnosti „sedenia“ karabínok,
 - podstreknutia a štartu motora,
 - doladenia otáčok motora podľa otáčkomera resp. podľa ucha,
 - odloženia pomôcok na bezpečné miesto mimo letový kruh,
 - poslednej kontroly správnosti „sedenia“ karabínok s následným postupným napínaním laniek pri ich súčasnem čistení,
 - uchopenie rukoväte a kontrola správnosti „sedenia“ karabínok,
 - kontrola správnosti zmyslu výchyliek kormidiel,
 - kontrola bezpečnosti letového priestoru na zemi i vo vzduchu.

Po pokyne mechanikovi rukou začína vlastná letová činnosť. Počas letovej činnosti je dôležité:

 - sledovať neustále aktuálny smer vetra - najdôležitejšia informácia pre stanovenie optimálneho bodu začatia jednotlivých figúr,
 - sledovať bezpečnosť letového priestoru na zemi i vo vzduchu,
 - sledovať polohu stredu letového kruhu,
 - lietať jednotlivé figúry v správnom poradí, počte a tvare, s dodržiavaním stanovených letových rovín,
 - sledovať časový priebeh letu s cieľom ukončiť lietanie figúr s dostatočnou rezervou pred ukončením motorového chodu a včasným ukončením letu do stanoveného časového limitu,
- **Poletové činnosti** sa vykonávajú bezprostredne po vlastnom lete. Pozostávajú z:
 - presunu modelu do depy,
 - rozmotania laniek,
 - pozbierania štartovacích pomôcok,
 - očistenia modelu,

- rozboru chýb (konzultácia s prihladajúcimi modelármi),

Toto bol rozpis hlavných činností vyplývajúcich z mojich vlastných praktických skúseností a postupov.

➔ **Nedodržiavanie alebo bagatelizovanie uvedených zásad má vždy za následok vznik mimoriadnych situácií a bude to len otázkou času kedy nastanú. Podľa zásad schválnosti však platí, že to bude práve v tej najnevhodnejšej chvíli, napríklad na dôležitej súťaži.**

5.4 Súťažné lietanie

Pokým činnosti tréningového lietania sú vykonávané zväčša v známom prostredí, **pri súťažnom letaní pristupujú ako nové prvky zmena prostredia a psychický tlak**, ktorého intenzita je priamo závislá od dôležitosti súťaže.

- **Zmena prostredia** nesie so sebou rôzne technické záťažnosti, akými sú napríklad:
 - iný technický stav letovej plochy (materiál povrchu, rovinnosť povrchu, rozdielna výška stredy letového kruhu voči dráhe, náklon dráhy voči horizontu...),
 - rôzne priestorové obmedzenia (ploty, stĺpy, stromy...),
 - iný optický stav pozadia (zhoršuje priestorovú orientáciu),
 - iný aerodynamický tvar okolia (stromy, budovy, násypy,... zväčšujú turbulenciu ovzdušia),
 - iná nadmorská výška (zmena ladenia a spotreby motora).
- **Psychický tlak** súvisí s nasledovnými skutočnosťami:
 - pocit zodpovednosti dosiahnuť čo najlepší výsledok,
 - prítomnosť konkurentov, bodovačov, a divákov,
 - nové prostredie (kontinent, krajina, mesto, tréningové a letové priestory...),
 - atď.

Ako dokáže ten ktorý modelár zúročiť stovky hodín príprav k dosiahnutiu špičkových výkonov na tých najvyšších súťažiach, závisí od jeho zodpovedného prístupu k stavebným a tréningovým činnostiam a v neposlednej miere od jeho nadania a psychickej odolnosti. Pokým je nadanie človeku dané geneticky, psychická odolnosť sa dá zlepšovať tréningovým procesom a hlavne súťažným letaním. **Súťažné lietanie je vždy ostrou previerkou technickej, letovej a psychickej pripravenosti modelára. Je potrebné si uvedomiť fakt, že i súťaž najnižšej „okresnej“ úrovne je vždy o niečo inom ako bežné tréningové lietanie.**

5.5 Zásady bezpečnosti pri letaní

Ako už bolo konštatované, letecko-modelárska činnosť, či už jej stavebné, prípravné, tréningové alebo súťažné činnosti nesú so sebou isté bezpečnostné riziká. Minimalizácia hlavných rizík je preto zakotvená aj v stavebných a súťažných pravidlách, či už národných alebo medzinárodných. Sú tam definované nasledovné hlavné zásady (parametre):

- schopnosť púťacieho zariadenia modelu bezpečne prenášať odstredivé sily letiaceho modelu (spôsob vykonávania skúšok, počet a priemery púťacích drôtov, veľkosť skúšobného zaťaženia, počet skúšobných cyklov),
- spôsob aktívnej i pasívnej ochrany priamych účastníkov t.j. pilota, mechanika a športových funkcionárov (prílby, ochranné sitá, pravidlá lietania kat.**F2A, F2C, F2D**),
- spôsob pasívnej ochrany nepriamych účastníkov a divákov (ochranné sitá kat.**F2A, F2C**).

Okrem uvedených špecifických zásad pre modelársku činnosť je potrebné dodržiavať aj bežne známe zásady bezpečnosti práce s horľavinami, jedmi a výbušninami,... Zároveň je potrebné pripomenúť, že uvedená činnosť je pre modelárov, športových funkcionárov i divákov vykonávaná na ich vlastné riziko, pokiaľ nebola uzatvorená poisťná zmluva na danú akciu alebo činnosť v danom priestore pre definovanú skupinu ľudí.

Pokračovanie kapitoly „6 Mechanika letu upútaného modelu lietadla“ v časti III.