

**Vyšší odborná škola, Střední škola,
Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí**



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE – PROFILOVÁ ČÁST ABSOLUTORIA

Model katamaránu

Autor: Karel Kratochvíl
Studijní obor: Elektrotechnika - mechatronické systémy
č. oboru: 26-41-N/01
Vedoucí práce: Ing. Fuka Jan
Školní rok: 2012/2013

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA, CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY
SEZIMOVO ÚSTÍ, BUDĚJOVICKÁ 421



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Karel Kratochvíl**
Obor studia: **26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy**
Název práce: **Model katamaranu**

Zásady pro vypracování:

1. Popište konstrukci a fungování plavidla katamaran. Podrobně charakterizujte vybrané důležité funkční celky modelu.
2. Navrhněte sestavu a technologii výroby modelu katamaranu.
3. Proveďte výrobu modelu katamaranu.
4. Vyhodnoťte vlastnosti hotového katamaranu.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

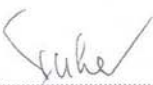
Doporučená literatura:

- [1] OPPL, Z., KOVAČEK, J.: *Postavte si motorový člun*. ALFA – technická literatura. Bratislava 1970.
- [2] LEPIL, O., BEDNÁREČEK, M. A KOL.: *Fyzika pro střední školy*. PROMETHEUS – technická literatura. Praha 2004. ISBN 80-7196-184-1.

Vedoucí práce: **Ing. Jan Fuka, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí**
Odborný konzultant práce: **Ing. Vladimír Hložek, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí**
Oponent práce: **Ing. Antonín Juránek, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí**

Datum zadání absolventské práce: **3.9.2012**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2013**


.....
Ing. Jan Fuka
(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 3.9.2012


.....
Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji tímto, že jsem absolventský projekt vypracoval samostatně pod vedením pana učitele Jana Fuky a uvedl jsem veškerou použitou literaturu a další informační zdroje včetně internetu.

V Sezimově Ústí dne 29. 4. 2013

Kratochvíl

podpis autora

Poděkování

Absolventská práce byla zpracována jako závěrečný projekt v rámci řádného ukončení 3. ročníku VOŠ studia Elektrotechnika - mechatronické systémy. Vedoucím práce byl pan učitel Ing. Jan Fuka, kterému tímto děkuji za odborné konzultace a cenné rady týkající se struktury i obsahu práce.

Zároveň děkuji vedení Vyšší odborné školy, Střední školy, Centra odborné přípravy a pedagogům této školy za umožnění pracovat na svém projektu v jejich hodinách. Děkuji zejména panu Mgr. Blechovi za přínosné maturitní semináře. Cenné rady mi poskytl také odborný konzultant pan Ing. Hložek.

Anotace

Tato práce se zabývá pojmem Katamarán, který má za úkol seznámení s mechanikou plovoucího tělesa a realizace modelu katamaránu. Dokumentace je zaměřena na teoretický popis plavidel a na samotnou stavbu modelu. Projekt dále popisuje výběr jednotlivých komponent.

Annotation

This work is dealing with the construction of vessel Catamaran. The assignment of the project is to describe the mechanism of the floating object and realization of the catamaran. Documentation is focused on the theoretical description of the boats and the construction of the model itself. The project also describes the selection of individual components.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Popis řešeného problému a zdůvodnění výběru	1
2	Seznámení s modelem katamaránu.....	3
2.1	Historie problému	3
2.2	Mechanika plovoucího tělesa	5
2.2.1	Vztlak, plavání	5
2.2.2	Těžiště, statický moment síly	7
2.2.3	Stabilita	11
2.2.4	Ovladatelnost člunu a vliv kormidla	16
2.3	Konstrukce lodního trupu	18
2.3.1	Hlavní rozměry, tvary a způsob stavby člunu	18
2.3.2	Výtlak člunu	24
2.4	Konstrukce a výpočet člunů s V žebrem	28
2.4.1	Způsob plavby	28
2.4.2	Odpor, rychlost plavby a výkon motoru	31
2.4.3	Uspořádání náhonu	34
2.4.4	Lodní šroub	36
3	Realizace modelu katamaránu	47
3.1	Stavba modelu katamaránu	47
3.2	Elektronické vybavení	50
3.2.1	Výběr pohonu modelu	50
3.2.2	Výběr regulátoru	53
3.2.3	Výběr vysílače a přijímače	54

3.2.4	Výběr pohonu kormidla	55
4	Závěr	57

Seznam obrázků

Obrázek 1: Uvedené závislosti	5
Obrázek 2: Stavby tělesa	7
Obrázek 3: Určení těžiště	8
Obrázek 4: Těleso ve vychýlené poloze	8
Obrázek 5: Výpočet těžiště	9
Obrázek 6: Určení polohy těžiště hotové lodi	9
Obrázek 7: Fyzikální princip stability	11
Obrázek 8: Základní geometrické tvary profilů	12
Obrázek 9: Fyzikální vztahy stability plovoucího tělesa	13
Obrázek 10: Příčná stabilita	14
Obrázek 11: podélná stabilita	15
Obrázek 12: Druhy podélné stability	15
Obrázek 13: Směrově stabilní a nestabilní tvary	16
Obrázek 14: Řízení kormidlem	17
Obrázek 15: Hlavní rozměry člunu	19
Obrázek 16: Odpor člunů	20
Obrázek 17: Tvar dna	20
Obrázek 18: Úhel náběhu	22
Obrázek 19: Hrany člunu	22
Obrázek 20: Příčné profily	22
Obrázek 21: Tvary člunů	23
Obrázek 22: Výpočet obsahu	25
Obrázek 23: Souřadnice těžiště	27
Obrázek 24: Výtlač člunu	27
Obrázek 25: Druhy plavby	30
Obrázek 26: Závislost odporu od rychlosti rekreačních člunů	31
Obrázek 27: Součinitel k_v	33
Obrázek 28: Uspořádání náhonu	34

Obrázek 29: Návrh hřídele podle výkonu motoru	35
Obrázek 30: Převodové ústrojí	35
Obrázek 31: Umístění lodního šroubu	36
Obrázek 32: Upevnění lodního šroubu	37
Obrázek 33: Stoupání lodního šroubu	38
Obrázek 34: Diagram pro stanovení hlavních rozměrů lodního šroubu	40
Obrázek 35: Smysl otáčení lodního šroubu	42
Obrázek 36: Druhy lodních šroubů	43
Obrázek 37: Šroubovice lodního šroubu	44
Obrázek 38: Vyvážení lodního šroubu	46
Obrázek 39: Boční pohled HD - 11	49
Obrázek 40: Zadní pohled HD - 11	49
Obrázek 41: Chlazení regulátoru a motoru	50
Obrázek 42: Motor SPEED 600 ECO	51
Obrázek 43: Akumulátor Turnigy 5000mAh 2S 20C	51
Obrázek 44: Nosnost jednotlivých lodních šroubů	53
Obrázek 45: Regulátor Turnigy 30A	54
Obrázek 46: Vysílač Hitec Flash 5	54
Obrázek 47: Přijímač Hitec micro 555	55
Obrázek 48: Servo Monza SSA35	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výpočet těžiště	10
Tabulka 2: Plochy žeber	25
Tabulka 3: Celková plocha	26
Tabulka 4: Parametry motoru SPEED 600 ECO	51
Tabulka 5: Parametry aku. Turnigy 5000mAh 2S 20C	51
Tabulka 6: Parametry lodních šroubů	52
Tabulka 7: Parametry regulátoru Turnigy 30A	54
Tabulka 8: Parametry serva Monza SSA35	55

1 Úvod

1.1 Popis řešeného problému a zdůvodnění výběru

Úkolem je zpracovat jednu z problematik týkajících se stavby a provozu modelu katamaránu. Toto téma jsem se rozhodl zpracovat, protože modelářská činnost naplňuje moje představy a skýtá mnoho nových technických řešení.

Cílem práce bylo vypracovat postup stavby a vybrat pokud možno optimální komponenty pro tuto loď.

Očekávané výsledky této práci jsou postavení modelu katamaránu, návrh vhodných komponentů a odzkoušení.

2 Seznámení s modelem katamaránu

2.1 Historie problému

Katamarán je plavidlo se dvěma trupy, nebo s jedním trupem a jedním vahadlem. Tato konstrukce může mít různé důvody: zvýšení rychlosti díky tečnému trupu, zvýšení stability nebo zvýšení palubní plochy. Běžně se (jako domorodá plachetnice) užívá v Polynésii, Indonésii a také ve východní Indii. Své využití tato konfigurace našla i u moderních plachetnic, vojenských plavidel a závodních plavidel. [4]

První zmínka o katamaránu, které byly vykonané Ptolemájovci krále Ptholemaia IV (221-205 př. nl.). Byly také používány řeckými konstruktéry podle Ptholemaia II (283-246 př. nl.). [4]

První doložení katamarán v Evropě byl navržen účetní společností Royal Society členem William Petty v roce 1662. Ten byl navržen tak, aby plul rychleji, v mělkých vodách, s menším větrem a kratším časem. Neobvyklý design se setkával s odporem a byl obchodně neúspěšný. Zatímco anglický dobrodruh a spisovatel William Dampier cestoval po celém světě při hledání obchodních příležitostí. Ocitl se na jihovýchodním pobřeží Indie v Karnataka na pobřeží Arabského moře. Byl první, kdo popsal v angličtině katamarán při pozorování domorodců. Byli to víc než vory z klád. Plavidla popsané Danpierem jsou ještě používány dodnes na pobřeží Tanil Nadu a Karnataka v jihovýchodní Indii. [4]

Design zůstal relativně neznámý na Západě téměř dalších 200 let, dokud je americký lodní inženýr Nathanael Herreshoff , začal stavět katamarán podle svého vlastního návrhu v roce 1877 (US patent. č. 189459), a sice "Amaryllis", který okamžitě projevil vynikající výkon a schopnosti, na její první závod (Centennial Regatta který dne 22. června 1876, mimo Staten New York Yacht Club je Island stanice). To byla tato

stejná událost, kde poražení protestovali vůči katamaránu. Byl vyloučen ve všech plavebních třídách a zůstal zakázán až do roku 1970. Tímto zákazem se katamarán nepoužíval mnoho let. [4]

V roce 1936 Eric de Bisschop postavil polynéskou "dvojí kánoi" na Havaji a plul s ní zpět do domovské země. Roku 1939 vydal knihu Kaimiloa, byla přeložena do angličtiny v roce 1940.

V roce 1947 Woodbridge "Woody" Brown a Alfred Kumalae navrhl a postavil první moderní zaoceánský katamarán, Manu Kai na Havaji. Jejich mladý asistent byl Rudy Choy, který později založil designérskou firmu Choy / Seaman / Kumalae (C / S / K, 1957). ProutBrothers, Roland a Francis experimentovaly s katamarány. Roku 1949 svojí lodní továrnu v CanveyIsland, Essex (Anglie), na katamarány v roce 1954. Jejich katamarán vyhrál závody snadno proti klasickému trupu. Inspiroval se také Kamiloa de Bisshop, a v roce 1955 James Wharram postavil utilitární katamarán a plul přes Atlantik s posádkou dvou německých dívek. V Trinidadu postavil ještě jeden a vrátil se přes severní Atlantik, od západu k východu, propagoval katamarán cuising (námořní). [4]

Rychlost a stabilita těchto katamaránů se jim stala populární jako rekreační plavidla. Popularita stoupla v Evropě, a poté v Americe. V současné době se většina katamaránů staví ve Francii, Jižní Africe a Austrálii. [4]

2.2 Mechanika plovoucího tělesa

2.2.1 Vztlak, plavání

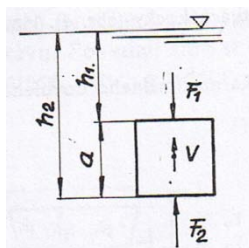
Ze zkušenosti víme, že tělesa ponořená v kapalině se nám jeví lehčí než ve vzduchu. Ve vodě např. zvedáme kámen menší silou než ve vzduchu. Dřevěný trámek je ve vodě dokonce nadlehčován takovou silou, že plave na vodní hladině. [2]

K tomuto poznatku o působení vztlačové síly na těleso ponořené do kapaliny dospěl ve 3. stol. př. n. l. řecký učenec ARCHIMÉDES. Poznatek známý **Archimédův zákon** formulujeme slovy:

Těleso zcela ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlačovou silou, jejich velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořeného tělesa. [1]

Tlak se šíří v kapalině všemi směry rovnoměrně. Velikost tlaku na ponořenou plochu se rovná tíze vodního sloupce nad touto plochou, teda tlak se zvětšuje úměrně s hloubkou ponořené plochy. [2]

Uvedené závislosti si ověříme takto: Vezmeme si kostku s hranou $a = 2 \cdot 10^{-2}[\text{m}]$ a ponoříme jí do vody tak, aby byla horní základna v hloubce $h_1 = 3 \cdot 10^{-2}[\text{m}]$. Na horní základnu působí síla, rovnající se tíži vodního sloupce. Hmotnost vypočítáme tak, že vynásobíme příslušný objem kostky měrnou hmotností. [2]



Obrázek 1: Uvedené závislosti [2]

$$\begin{aligned}
 F_1 &= a \cdot a \cdot \rho \cdot g \cdot h_1 \\
 &= 2 \cdot 10^{-2} [m] \cdot 2 \cdot 10^{-2} [m] \cdot 1000 [kg/m^3] \cdot 10 [m/s^2] \cdot 3 \cdot 10^{-2} [m] \\
 &= 12 \cdot 10^{-2} [N]
 \end{aligned}$$

ρ - měrná hmotnost vody je 1000 [kg/m³] při 20 [°C]

Na spodní základnu působí síla

$$F_2 = a \cdot a \cdot \rho \cdot g \cdot h_2 = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 20 \cdot 10^{-2} [N]$$

Vidíme, že síla F_2 je větší jak síla F_1 . Kostka je nadlehčována silou F_v , která se rovná rozdílu uvedených sil, teda

$$F_v = F_2 - F_1 = 20 \cdot 10^{-2} - 12 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-2} [N]$$

tuto sílu nazýváme **hydrostatický vztlak** nebo krátce vztlak. Vypočítáme si hmotnost kapaliny F_k , kterou kostka svým ponořeným objemem V vytlačí

$$\begin{aligned}
 F_k &= V \cdot \rho \cdot g = a \cdot a \cdot a \cdot \rho \cdot g = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot 10 \\
 &= 8 \cdot 10^{-2} [N]
 \end{aligned}$$

Dostaneme výsledek $F_v = F_k$

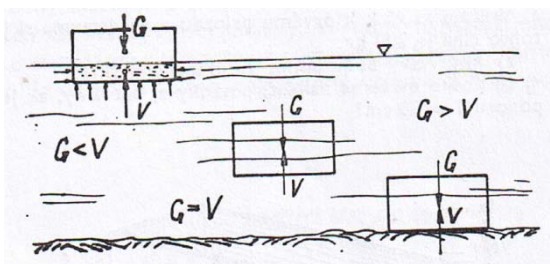
co je právě Archimédův zákon.

Zjednodušeně si ho můžeme představit tak, že vztlak působí vždy v těžišti ponořeného tělesa. Ponorný objem tělesa nazýváme výtlak, a budeme ho označovat písmenem D . Shrneme-li uvedené poznámky, dostaneme rozšířený vztah:

$$F_v [N] = F_k [N] = D [N] = V [dm^3] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Každé těleso má vztlak a svou vlastní hmotnost m , která působí v těžišti tělesa. Na ponořené těleso teda působí dvě základní síly F_v a tíhová síla G . Podle vzájemné velikosti těchto sil můžou nastat tři případy, a to:

- tíha tělesa je menší jak vztlak (těleso plave),
- tíha tělesa se rovná vztlaku (těleso se volně vznáší),
- tíha tělesa je větší jak vztlak (těleso klesne na dno).



Obrázek 2: Stavy tělesa [2]

Pro nás je důležitý jen první případ, kde těleso plave, a jeho tíha je menší, než tíha vody, kterou svým ponořeným objemem (výtlakem) vytlačí. Také těleso (člun) potom plave zčásti vynořené. Síla výtlaku plavajícího člunu se vždy rovná celkové, pohotovostní tíze člunu. [2]

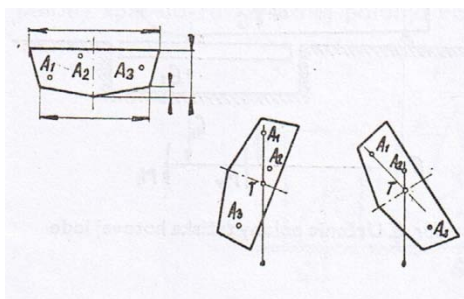
2.2.2 Těžiště, statický moment síly

V předchozí části jsme vysvětlili, že vztlak působí v těžišti výtlaku T_D a celková hmotnost člunu v těžišti T_G . Důležitou podmínkou při konstrukci člunu je, aby tyto oboje těžiště ležela na sobě. Člun je ve svojí přirozené poloze, na společné svislici. Hovoříme, že takový člun podélně vyvážený. Jeho plavba je klidná s minimálním náklonem. [2]

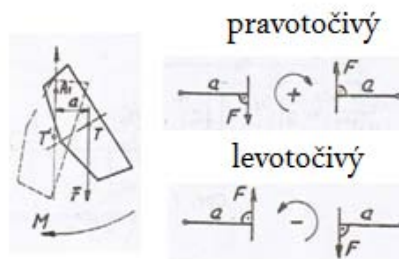
Těžiště je hmotný bod, do kterého si můžeme soustředit hmotnost tělesa. Pokud je těleso volně zavěšené, zaujme těžiště vždy polohu na svislici pod závěsným bodem; je to známý pokus s kyvadlem.

Uvedené poznatky využijeme při určování těžiště určité plochy obr. 3. Polohu, které těžiště máme určit, si přesně narýsujeme ve zvoleném poměru na tvrdší papír. Určíme si tři (stačili by dva) libovolné závěsné body A_1 , A_2 a A_3 . Nakreslenou plochu vystříhneme, zavěsíme v bodě A_1 na špendlík a necháme ustálit. K špendlíku přiložíme nit se závažím a orýsujeme polohu nitě na šablonu. To samé opakujeme u závěsu A_2 a A_3 . Nakreslené přímky (těžnice) se protnou v jednom bodě, a to právě v hledaném těžišti. Vidíme, že třetí těžnice je vlastně už kontrola přesnosti určení těžnice. [2]

Při uvedeném určování těžiště polohy zjišťujeme zajímavý jev. Pokud polohu (tělesa) na závěse vychýlíme, vrátí se vždy do stálé polohy, a to do rovnovážného stavu. Říkali jsme si už, že v těžišti si můžeme představit soustředěnou hmotu (tíhu) tělesa, která představuje určitou sílu. Na obr. 4 je těleso nakreslené ve vychýlené poloze, kde vzhledem na zemskou přitažlivost působí síla F na svislici vedenou těžištěm. [2]



Obrázek 3: Určení těžiště [2]



Obrázek 4: Těleso ve vychýlené poloze [2]

Síla tedy neprochází závěsy, ale v určité vzdálenosti a . Vytváří se otáčivý účinek, kterému říkáme statický moment síly M . Moment je tím větší, čím větší je síla nebo její rameno, přitom platí

$$M = F * a$$

Statický moment je teda součin síly a kolmého ramena momentu. Podle toho, jaký je směr a poloha síly k závěsu, rozeznáváme pravotočivý (kladný) a nebo levotočivý (záporný) smysl momentu. Jak na těleso působí více statických momentů M_1 , M_2 ,... M_n , můžeme je nahradit jedním výsledným momentem M_v , přičemž platí že výsledný moment se rovná algebraickému součtu všech momentů, vzhledem na ten samý (libovolný) bod. [2]

$$M_v = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

Podle obr. 5, máme vypočítat polohu těžiště hmotnosti T_G člunu. Známe částečná těžiště $G_1, G_2 \dots$ a jejich polohu. [2]

Nejdřív si zvolíme bod O , ke kterému budeme řešit rovnici, a sestavíme si tab.1. Z rovnice na posledním řádku vypočítáme těžiště od zvoleného bodu O

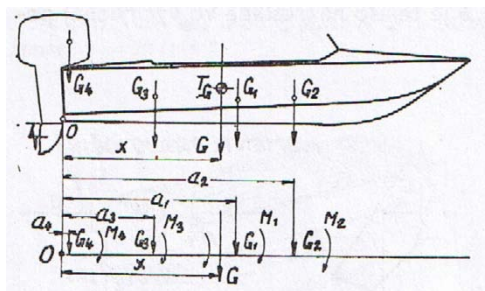
$$M_v = G * x$$

$$M_v = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

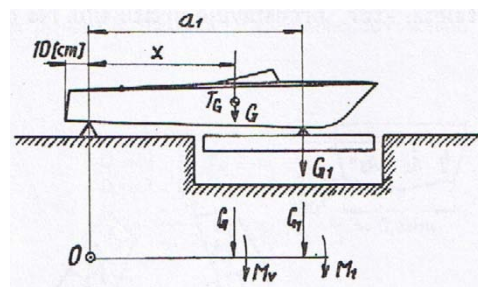
$$G * x = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

$$x = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4}{G} = \frac{2\,162}{900} = 2,402 \text{ [m]}$$

Velice přesně určíme polohu těžiště hotové loď (kontrolní výpočet) vážením na mostové váze, na obr. 6.



Obrázek 5: Výpočet těžiště [2]



Obrázek 6: Určení polohy těžiště hotové lodi [2]

Tabulka 1: Výpočet těžiště [2]

	Částečná tíha G [N]		Ramena a [m]	Velikost částečných momentů M [Nm]
1	Člun	4000	2,5	10000
2	Posádka	3200	3,2	10240
3	Náklad	1000	1,3	1300
4	Motor	800	0,1	80
	Součet	9000		21620

Přední část člunu položíme asi na střed lodi, na dřevěný hranol tvaru klínu. Zadní část (lodi), která neleží na váze, podepřeme hranolem, asi 10 [cm] od hrany zrcadla. Přesně změříme vzdálenost podpěr a_1 a vážením určíme též G_1 . Potom zvažíme normálně celou loď a zjistíme její hmotnost G . Z uvedených hodnot počítáme

$$M_v = \Sigma M_1 \text{ až } M_2$$

Je tu jen jedna síla, takže platí

$$M_v = M_1 = G_1 \cdot a_1$$

protože pro tíhu platí, že

$$M_v = G \cdot x'$$

bude

$$G \cdot x' = G_1 \cdot a_1$$

a odtud velikost rovna x'

$$x' = \frac{G_1 \cdot a_1}{G} [cm]$$

Vzdálenost těžiště od hrany zrcadla je

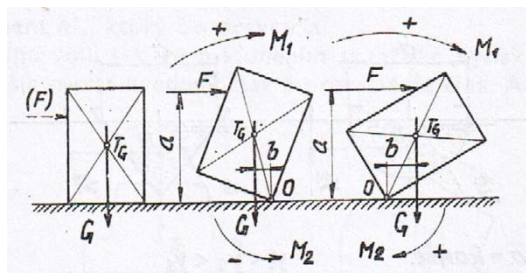
$$x = x' + 10 [cm]$$

Polohu těžiště člunu můžeme ovlivnit a to umístěním motoru, polohou sedadel popřípadě přemístěním zavazadel. [2]

Podrobný výpočet polohy těžiště výtlačku T_D je uvedený v kap. 2.3.2, nyní si vysvětlíme, jaký má vliv změna vzájemné polohy těžišť na stabilitu člunu. [2]

2.2.3 Stabilita

Stabilita je schopnost tělesa (člunu) vrátit se po vychýlení ze své rovnovážné polohy zpět do rovnovážné polohy. Pochopíme to lépe z obr. 7, který znázorňuje fyzikální princip stability. [2]



Obrázek 7: Fyzikální princip stability [2]

Těleso stojící na podlaze, je zatížena jednou silou, vlastní tíhou G . Tato poloha je rovnovážnou polohou tělesa. Když na bok bedny začne působit síla F , začne se bedna vyklánět okolo spodní hrany, protože na ní působí moment zatěžující síly

$$M_1 = F \cdot a$$

Jehož účinek je pravotočivý (kladný).

Oproti tomuto momentu působí moment vlastní tíhy tělesa (hovoříme o **momentu stability** nebo vratný moment). [2]

$$M_2 = G \cdot b$$

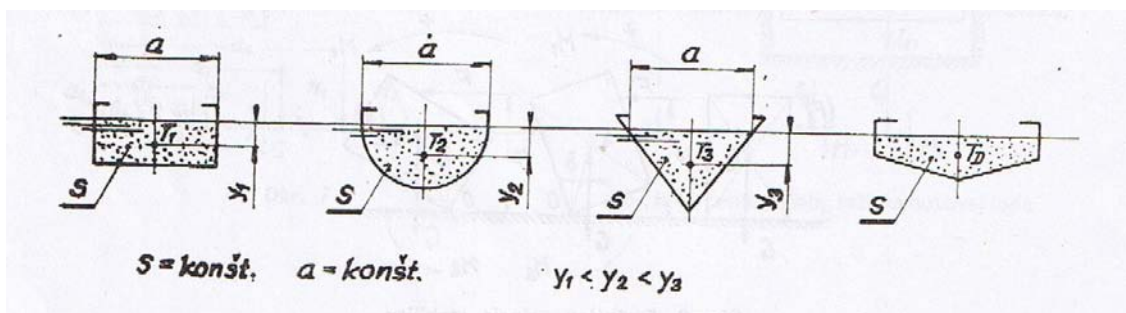
Účinek je opačný, levotočivý (záporný).

Rozhodující je, který obou momentů je větší. Při větším momentu M_1 se náklon zvětšuje, až se těleso převrátí. Těleso přejde polohu, když moment tíže změní svůj smysl (svoje znaménko) a těžiště tělesa přejde na svislou spodní svislici spodní hrany.

Člun je v rovnovážné poloze tehdy, když je těžiště tíhy a těžiště výtlaku na společné svislici. Výklon člunu z této polohy způsobí například náhlý přívál větru, vlna, přesun posádky, nástup či výstup posádky přes bok nebo přední část člunu. Takto se člun nakloní buď na bok, tedy v příčné rovině, nebo do předu či do zadu, teda v podélné rovině. Poznáváme proto příčinu - podélnou stabilitu. [2]

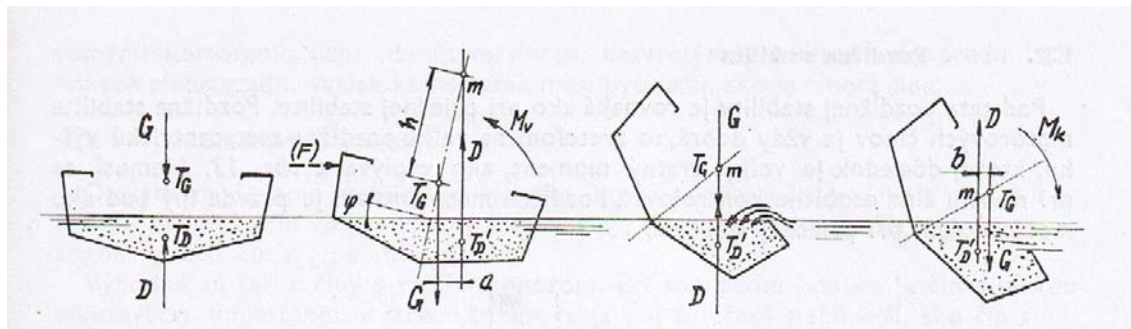
a) Příčná stabilita

Příčná stabilita člunu je mnohem důležitější než podélná, protože její porušení může zapříčinit převrácení člunu. Některým člunům se těžiště vychýlí z rovnovážné polohy, jiné se při rovnovážném momentě velmi vykloní. Záleží to na příčném profilu člunu a rozložení hmotnosti. Všeobecně platí, že nejstabilnější profil je ten, u kterého je těžiště ponořené části nejbližší k hladině. Na obr. 8 jsou tři různé profily základních tvarů, které mají stejnou šířku na hladině a rovnou velikost ponořené plochy. Těžiště obdélníkového profilu je nejbližší k hladině a je teda nejstabilnější. Naopak, trojúhelníkový profil je velmi nestabilní, má však výhodu, že loď dobře udrží směr. Profil člunu se vždy kombinují se základními profily. Poslední profil na obr. 8 znázorňuje běžný profil motorových člunů, je to široce rozevřené V, kombinované s obdélníkem. [2]



Obrázek 8: Základní geometrické tvary profilů [2]

Na tomto profilu si vysvětlíme fyzikální vztahy stability plavajícího tělesa. Na obr. 9 je znázorněný profil v rovnovážné poloze. Hmotnost G v těžišti hmotnosti T_G , vztlak F_v působí v těžišti výtlaku T_D . Oboje těžiště a tedy i oboje síly jsou při rovnovážné poloze na společné svislici, protože platí $G \equiv F_v$, účinek síly se ruší a člun je v rovnováze. [2]



Obrázek 9: Fyzikální vztahy stability plovoucího tělesa [2]

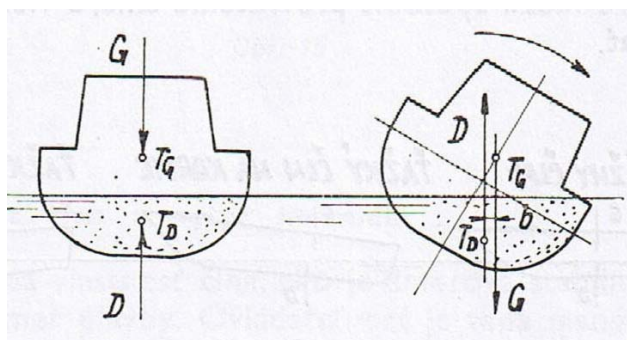
Vlivem nějaké síly F se člun naklání o určitý úhel. Těžiště hmotnosti člunu zůstává pochopitelně na svém místě, ale těžiště výtlaku přejde plynule do nové polohy T'_D . Tím se obě hlavní síly vzdálí o hodnotu a (tzv. rameno stability) a vytvoří točivý moment M_v , který člun uvede zpět do rovnovážné polohy a přestane působit venkovní síla F . [2]

Mírou schopnosti vrácení se člunu do původní polohy je tzv. metacentrická výška h_M . Je to vzdálenost těžiště hmotnosti od průsečíku svislic, vedené těžištěm výtlaku s osou souměrnosti. Metacentrická výška je při motorových člunech 30 až 80 [cm]. Z obr. 9 je zřejmé, že metacentrická výška je tím vyšší, čím je těžiště nižší v lodi a čím více se vysune do strany těžiště výtlaku. Čím je metacentrická výška vyšší, tím je člun stabilnější. Tyto vztahy platí jen pro omezenou velikost úhlu náklonu α , cca do 40° . [2]

Při neustálém naklání člunu se zmenšuje metacentrická výška, až dosáhne nulovou hodnotu a to v okamžiku, kdy svislice prochází těžištěm T_D a T_G splynou. Nastane kritická poloha člunu, vratný moment se rovná nule ($a = 0$), nehledě na okolnost, že při tomto naklonění už může člun nabírat přes okraj vodu. Potom se už

výtlačné těžiště přesune pod těžiště hmotnosti, a rameno stability b vytvoří točivý moment M_k , který člun převrací. [2]

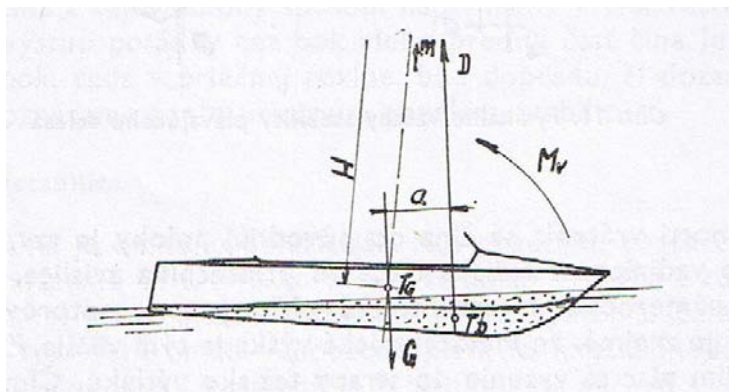
Když se tvar profilu volí tak, že nakloněním se těžiště výtlačku jen málo posune do strany, můžeme lehce nastavit uvedený stav a převrácení člunu. Jako je vidět na obr. 10. Nebezpečí je větší při zaoblených profilech a dále při člunech s výše položeném těžištěm a hmotnosti. Z uvedených poznatků je zřejmé, že stabilnější je takový profil, který má dostatečně velkou metacentrickou výšku. Její velikost však můžeme ovlivnit konstrukcí. Těžiště hmotnosti snížíme uložením všech těžkých součástí co nejnižze, nástavbu vyrobíme co nejlehčí. Dostatečně posuneme těžiště výtlačku do stran při širokých člunech (s plochým dnem) anebo tvaru široko rozevřeného V. Oblé tvary dna se uplatňují při lodích pro plavbu na více zvlněné hladině. [2]



Obrázek 10: Příčná stabilita [2]

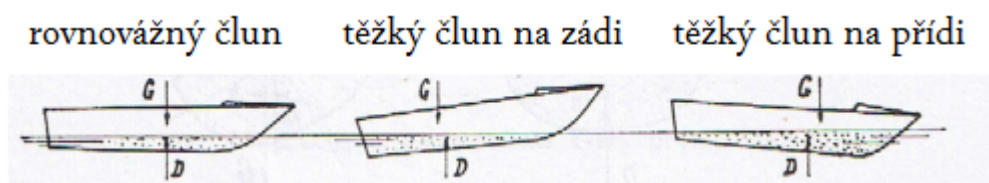
b) Podélná stabilita

Podstata podélné stability je stejná jako při příčné stabilitě. Podélná stabilita motorových člunů je vždy dobrá, se zřetelem na velkou podélnou metacentrickou výšku. Její důsledek je velký vratný moment, jak vyplývá z obr. 11. Nemusíme se při návrhu člunu osobitě kontrolovat. Podélné metacentrum je pravda jiný bod jako metacentrum při příčné stabilitě. [2]



Obrázek 11: podélná stabilita [2]

Třeba si však uvědomit, že hlavně v této rovině musí těžiště hmotnosti a výtlačku ležet na společné svislici. Nesprávnou konstrukcí trupu člunu a nesprávným rozdělením jednotlivých hmotností se totiž může stát, že se těžiště hmotnosti posune na předovou nebo zadní část lodě obr. 12. Hovoříme, že člun je těžký na přídi nebo těžký na zadek. Částečně můžeme tuto chybu v konstrukci napravit, pokud není velká, a to pře nastavením nákladu a sedadel posádky. V každém případě je menší chybou, když je člun převážený na předeck. Vysvětlili jsme si podstatu stability plavajícího tělesa a příčiny, které mohou způsobit převrácení člunu. Víme, jak jim při navrhování člunu předcházet. [2]



Obrázek 12: Druhy podélné stability [2]

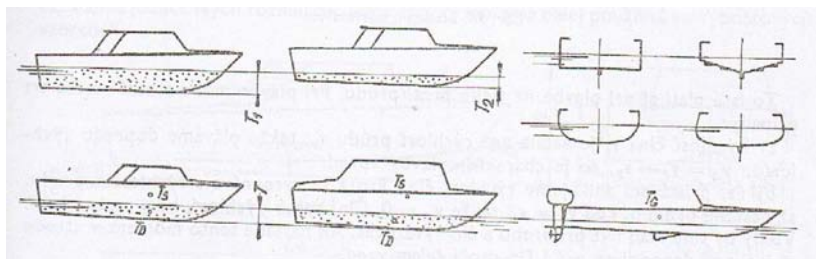
I tak může dojít k nečekaným venkovním vlivům anebo nepozorností posádky k situaci, že se člun převrátí a naplní vodou. Prudkým nárazem na plovoucí pevný předmět se může prorazit dno nebo bok člunu a může se naplnit vodou. Jde jen o to, aby člun neklesl na dno. [2]

Každý motorový člun by měl být přesto nepotopitelný. Nepotopitelnost můžeme zajistit vzduchotěsnými kapsami, např. dvojitým dnem, uzavřeným prostorem na přídi lodi, bocích anebo zádi. Vztlak komor musí být větší, než je tíha člunu. [2]

c) Směrová stabilita

Osobitým druhem stability je stabilita, která udržuje člun v daném směru bez ohledu na venkovní vlivy (boční vítr, vlny, odstředivou sílu v zatáčce), které se snaží vytlačit člun z jeho směru. [2]

Výhodné jsou těžké čluny s větším ponorem. Při stejném ponoru je člun s nízkou nástavbou, umístěnou ve středu, směrově (ale i příčně) stabilnější, jako člun s vysokou nadstavbou vpředu. Těžiště boční neponořené plochy člunu T_s by mělo být v příčné rovině těžiště výtlačku a hmotnosti. Hranatý profil lépe vede člun než oblý profil, který se lehce vysune z dráhy. Vedení člunu může zlepšit větší kýl, případně další lišty. Rychlé a velmi obratné sportovní čluny používají stabilizační ploutev, která se umístí před těžiště hmotnosti člunu. [2]



Obrázek 13: Směrově stabilní a nestabilní tvary [2]

2.2.4 Ovladatelnost člunu a vliv kormidla

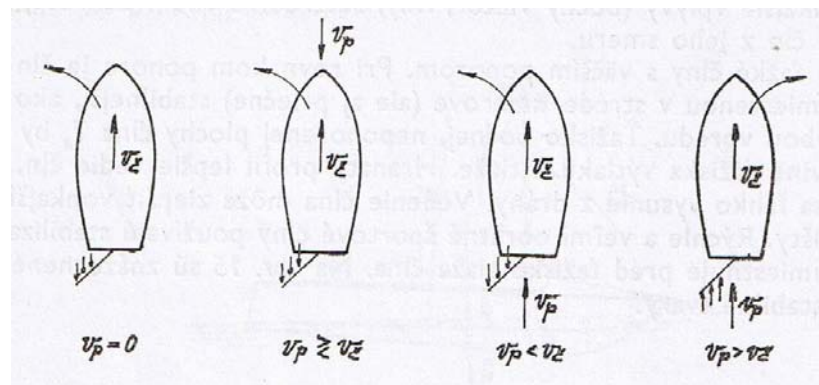
Ovladatelnost je opačná vlastnost, než je směrová stabilita. Je to schopnost rychle a účinně měnit směr plavby. Ovladatelnost je teda manévrovací schopnost a měla by být tím větší, čím se člun pohybuje v menších prostorách. Dobrá ovladatelnost je zárukou bezpečné plavby. [2]

Ovladatelnost ovlivňuje příčný profil a způsobuje ovládání směru plavby. Dobře ovladatelné jsou směrově nestabilní čluny s oblými žebry a s malým ponorem. Horší pro ovládání jsou čluny s obdélníkovými žebry, velkým ponorem. [2]

Směr plavby můžeme ovládat:

- a) Natáčením závěsného motoru
- b) Natáčením nohy náhonu, nebo vodní dýzy
- c) Kormidlem

Nejméně účinné je ovládáním kormidlem obr. 14. Vysvětlíme si však funkci kormidla. Na stojaté vodě je ovládání jednoduché, protože člun plave na tu stranu, na kterou stranu vychýlíme kormidlo. Tlak vody na kormidlo vychýlí osu lodi na jednu stranu. Střed otáčení je zhruba před působišťem výtlačku. [2]



Obrázek 14: Řízení kormidlem [2]

To samé platí i při plavbě na řece proti proudu. Při plavbě může nastat tři případy:

a) Rychlost člunu je v_{ε} je větší než rychlost proudu v_p , takže plaveme dopředu rychlostí $v_A = v_{\varepsilon} - v_p$, je to charakter plavby vpřed. [2]

b) Při přistávání snížíme rychlost člunu, která se vyrovná s rychlostí proudu. Až nastane okamžik, kdy $v_p = v_{\varepsilon}$, takže $v_A = 0$. Člun nemá rychlost, ačkoli motor běží. Když nastane tento moment uprostřed řeky, pravděpodobně proud člun otočí čelem vzad. [2]

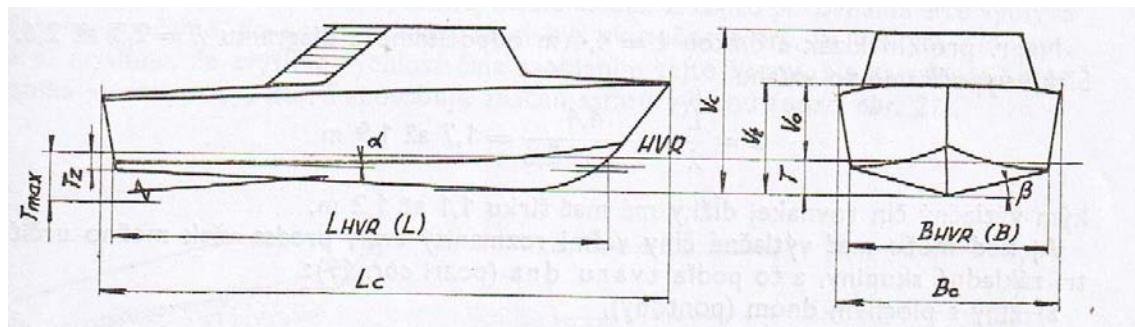
c) Pokud velmi snížíme otáčky motoru a rychlost člunu je menší než rychlost proudu ($v_p > v_{\varepsilon}$), začne proud strhávat člun zpět po proudu a kormidlo působí opačně. [2]

Pokud člun plave po proudu je bezpodmínečně potřebné, aby měl větší rychlost než je rychlost toku proudu, aby normálně reagovalo kormidlo. Pokud jsou oboje rychlosti stejné $v_p = v_{\varepsilon}$, člun unáší proud. Na kormidlo nepůsobí tlak vody a kormidlo neovládá člun. V takovéto situaci se ocitneme při plavbě po proudu, pokud vypneme motor. Člun je neovladatelný. [2]

2.3 Konstrukce lodního trupu

2.3.1 Hlavní rozměry, tvary a způsob stavby člunu

Dva čluny můžeme především porovnat pozorováním určitých charakteristických rozměrů, které nazýváme dohromady hlavními rozměry. Na obr. 15 jsou uvedené označení jednotlivých rozměrů. Tyto značky budeme dále používat ve výpočetních vzorcích. [2]



Obrázek 15: Hlavní rozměry člunu [2]

L_c - největší délka člunu, L_{HVR} (L) - délka na hlavní vodorysce, B_c - Největší šířka člunu, B_{HVR} (B) - největší šířka na vodorysce, B_z - šířka hlavní vodorysky na zrcadle, T - největší ponor trupu, T_z - ponor na zrcadle

V_o - volná výška boku, V_t - stavební výška trupu, V_c - největší výška člunu, HVR - hlavní vodoryska
 α - úhel náběhové hrany, β - úhel kýlovitosti

Základní charakteristickou hodnotu člunu, je poměr délky a šířky na hlavní vodorysce L/B , který nazýváme poměrové číslo λ . Všeobecně platí

$$\frac{L}{B} = \lambda$$

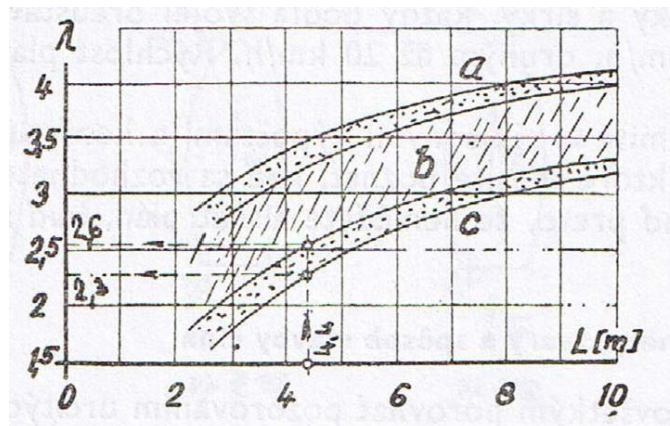
a odtud

$$B = \frac{L}{\lambda}$$

Známe dva základní druhy plavby, a to:

- a) Výtlačnou plavbu
 - Každá plavba při malé rychlosti, resp. Plavba člunů se slabými motory
- b) Plavba klouzáním
 - Dosaženou větším výkonem motoru při vyšší rychlosti

Poměr L/B výtlačných motorových člunů je vždy větší oproti lodím pro plavbu klouzáním. Starý loďařský termín hovoří, že „délka běží“. Toto pochopíme, když se podíváme na rychlost plavby závodní osmiveslice. Hodnota L/B však není konstantní, mění se s délkou. Platí diagram na obr. 16, v kterém horní pásmo **a** je pro čluny výtlačné, střední **b** pro přechodnou oblast plavbu (polo kluzáky) a dolní pásmo **c** pro čluny schopné klouzáním (kluzáky). [2]



Obrázek 16: Odpor člunů [2]

Např. pro člun kluzák s délkou $L = 4,4$ [m] odečteme z diagramu $\lambda = 2,3$ až $2,6$.

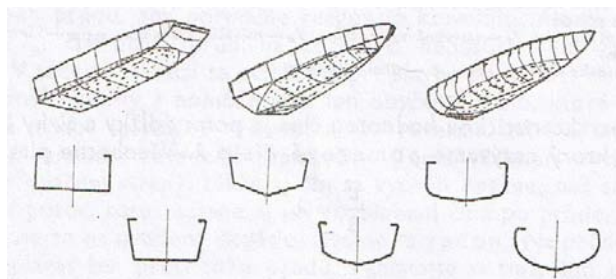
Šířku vypočítáme ze vztahu

$$B = \frac{L}{\lambda} = \frac{4,4}{2,3 \text{ až } 2,6} = 1,7 \text{ až } 1,9 \text{ [m]}$$

Pokud výtlačný člun stejné délky má mít šířku $1,1$ až $1,2$ [m].

I teď můžou mít výtlačné čluny velmi rozmanitý tvar, přece však lze určit tvar základní skupiny, a to podle tvaru dna obr. 17:

- Čluny s plochým dnem (pontony)
- Čluny se dnem do V
- Čluny s oblým dnem



Obrázek 17: Tvar dna [2]

a) Čluny s plochým dnem jsou stavebně velmi jednoduché. Dno se vepředu zdvihá, člun má tzv. podhon. Odpor je značný, v porovnání se čluny s oblým dnem. Více než dvojnásobný. Částečně se zmenší tvarováním člunu do V. Pontonový tvar člunu se,

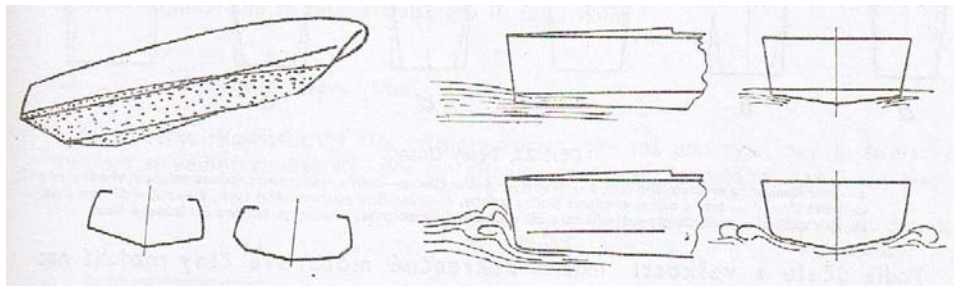
používá pro obytné a nákladní čluny. Pontonový tvar má totiž relativně největší výtlačk a hmotnost opačně, nejmenší ponor, co je pro těžké čluny výhodné. [2]

b) Čluny se dnem do V jsou částečně stavebně náročnější. Jejich plavební vlastnosti jsou dobré, vzhledem na poměrně malý odpor. Voda člun obtéká, vodoryska je vzadu plynule uzavřená. Toto dosáhneme zvednutím kýlu na zadní části člunu nad hladinu. Úhel náběhu dna je tedy negativní, a proto se člun nedostane do kluzu ani s velmi silným motorem. Žebra jsou rovná nebo mírně vydutá. Čluny tohoto typu jsou nejvýhodnější pro slabé motory s výkonem 3 až 8 [k]. [2]

c) Čluny s oblým dnem mají při výtlačné plavbě sice menší odpor, ale jsou konstrukčně a stavebně velmi náročné. Proto se tudíž používají jako motorové čluny. Typickým představitelem tohoto tvaru je každému dobře známá kanoe. [2]

Společným rysem všech výtlačných člunů je skutečnost, že sedí ve vodě a nevybíhají na hladinu. Délka vodorysky se nemění. Proto i váhové těžiště leží přibližně v polovině délky člunu. [2]

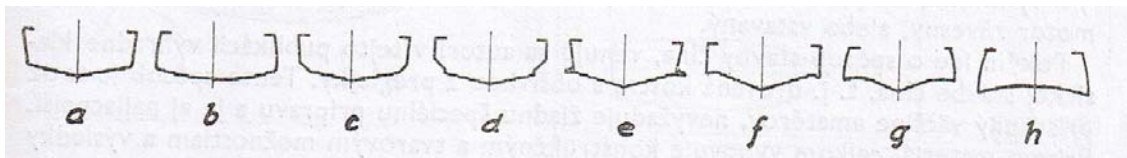
Čluny pro plavbu klouzáním (kluzáky), musí mít dostatečný silný motor, aby mu udílel potřebnou rychlost. Navíc dno vyhotovené a tvarované tak, aby byl schopný vyběhnout na hladinu. Tak jako musí mít letecké křídlo určitý úhel náběhu, tak ho musí mít i dno člunu obr. 18. Úhel náběhu se volí $2[^\circ]$ až $3[^\circ]$. To znamená, že hrany klesají k zadní části pod hladinou. Voda se odtrhuje od ostré hrany zrcadla podobně jako vzduchový proud na odtokové zadní hraně křídla. Z tohoto porovnání ještě vyplývá zásadní poučení, že hrana zrcadla musí být skutečně ostrá. Je velký omylem, když předpokládáme, že zvýšíme rychlost člunu zaoblením této hrany. Na zaoblené hraně vzniká víření vody, které způsobuje značnou ztrátu výkonu obr. 19. Těžiště hmotnosti kluzáku musí ležet za polovinou délky vodorysky. Čím je kluzák rychlejší, tím musí být těžiště posunuto víc dozadu. [2]



Obrázek 18: Úhel náběhu [2]

Obrázek 19: Hrany člunu [2]

Příčný tvar (profil) kluzáku. Tvar žebër je konstrukčně jiný, a to hlavně v zadní části člunu. Na obr. 20 jsou znázorněny jednotlivé typy. [2]

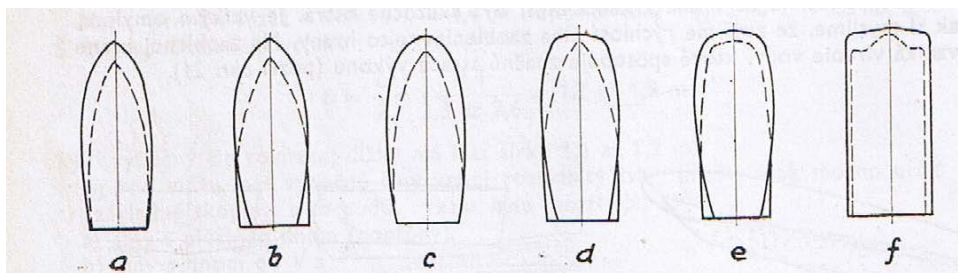


Obrázek 20: Příčné profily [2]

- a) Základní přímkový profil V s jednou vnější hranou patří k nejpoužívanějším profilem v amatérské stavbě člunů. Výroba žebër je velmi jednoduchá.
- b) To samé platí o tomto profilu, kde jsou strany mírně vypuklé.
- c) V profil s dvěma vnějšími hranami, které přebíhají obvykle jen v zadní polovině člunu. Vhodný je pro rychlé čluny vzhledem na větší směrovou stabilitu.
- d) To samé platí pro zlepšený profil, kdy konstrukce žebra má nízký odtržný stupeň, který zaručuje vysokou směrovou stabilitu, a navíc umožňuje dobrý odtrh vody. Je to profil velmi rychlých, špičkových člunů.
- e) Zlepšení plavebních vlastností člunů s normálním V žebry dosáhneme montáží odtrhové lišty s vnějším profilem, která musí být ostrá.
- f) Profil stejných vlastností, vytvořený přímo tvarem dna.
- g) Podobní profil, přímkový tvar je však nahrazený přímkami.
- h) Profil, který vytváří vyduté dno, je v zatáčkách značně labilní.

Prvních pět profilů se používá pro stavbu dřevěných člunů s překližkovou obšívkou. Poslední tři profily jsou vhodné pro laminátové čluny. [2]

Z pohledu shora (tedy v půdoryse) mají čluny různý tvar na obr 21. Čárkovaně je kreslený přechodových hran, pokud jsou kryté palubou.



Obrázek 21: Tvary člunů [2]

a - tvar klasického motorového člunu, b - tvar sportovního člunu, c - tvar s rozšířenou přední palubou, d - tvar s tupou přední částí, e - tvar člunu pod honového typu, f - nejnovější tvar člunu

Výstavba člunu z laminátu má své výhody. Člun můžeme libovolně tvarovat. Naproti tomu při obšívce překližkou je tvarování nemožné, tam jsme nuceni používat jednoduché přímkové tvary. Druhou výhodou laminátu je odolnost proti vodě, kompaktnost stavby a velmi dobrá vodotěsnost. Tuto výhodu můžeme využívat (a v současnosti zásadně využíváme) tak, že hotový překližkový člun potáhneme jednou nebo dvěma vrstvami laminátu. [2]

Pokud chceme nějakou část člunu speciálně tvarovat (případně i celý člun), můžeme to udělat tzv. holandským způsobem. Kostra člunu s libovolným tvarovanými žebry (příp. část člunu, nadstavba kajuty atd.) se pokrývá dřevěnými lištami, které se malými hřebíčky přibijí na žebra. Výhodně můžeme použít letecko-modelářské nosníky, čtvercového nebo obdélníkového profilu. První nosník se umísťuje od zrcadla k žebro 3, druhý nosník od žebra 1 na žebro 4, třetí mezi žebra 2 a 5 atd. Takto můžeme vytvořit dokonale tvarované plochy. Dosedací plochy nosníků je třeba přilepit epoxidovým lepidlem a přebytek lepidla třeba rozetřít. Hotovou plochu obrousíme a přelaminujeme z obou stran. Touto metodou se v zahraničí vyrábějí i velké jachty, s tím rozdílem, že nosníky nejsou dřevěné ale z umělých hmot a lepí se na kopytě. Výsledkem je velmi pevná a tuhá struktura lodního trupu. [2]

2.3.2 Výtlak člunu

Výpočet výtlaku navrhovaného člunu a určení plochy jeho těžiště od hrany zrcadla je důležitou částí výpočtů, která nám ještě ukáže či náš návrh je dobrý nebo nikoli. Těžiště výtlaku musí být za polovinou délky vodorysky, směrem k zrcadlu. Poloha těžiště výtlaku pomůže určit polohu ostatního příslušenství člunu tak, aby poloha těžiště výtlaku a hmotnosti byla stejná. Víme, že výtlak se rovná tíze člunu

$$D = G = V \cdot \rho \cdot g$$

kde D je výtlak [N], G = hmotnost [kg], V = ponorný objem [m^3], ρ = měrná hmotnost vody [kg/m^3], $g = 10$ [m/s^2]. Protože $\rho = 1000$ [kg/m^3], můžeme rovnou psát

$$D \equiv 10000 \cdot V$$

teda výtlak se rovná hmotnosti ponořeného objemu lodního tělesa. Toto těleso je nepravidelné, je však omezené rovinou předpokládané hlavní vodorysky.

Pro výpočet takového tělesa platí tzv. *Simpsonovo pravidlo*

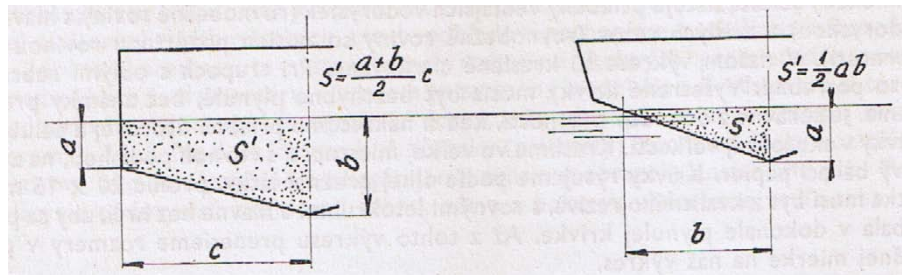
$$D \equiv 10000 \cdot V = \frac{2}{3} a \cdot 0,5 \cdot S_0 + 2 \cdot S_1 + S_2 + 2 \cdot S_3 + \dots S_{n-2} + 2 \cdot S_{n-1} + 0,5 \cdot S_n^{**}$$

$$D \equiv 10000 \cdot V = \frac{2}{3} a \cdot \Sigma S$$

kde a je rozestup teoretických žebor, S_0 až S_n = plochy ponořených částí žebor.

Když na našem výkrese je rozdělena vodoryska na 8 dílů (po 0,5 [m] = 50 [cm]), jsou omezené devíti teoretickými žebry, jejich tvar (0 až 8) už máme na výkrese nakreslený, takže můžeme vypočítat příslušné plochy S . Protože, máme na výkrese nakreslenou jen polovinu žebor, vypočítáme jen poloviční plochy, S' a tyto nakonec vynásobíme dvěma. [2]

Předpokládejme, že jsme kreslili zmenšený výkres, v měřítku 1 : 5. Jednotlivé plochy (lichoběžníky nebo trojúhelníky) jsou 5^2 x menší, teda 25-krát menší. Zatím to nebereme v úvahu. Z našeho výkresu jsme vypočítali plochy obr. 22 a sestavily tab. 2 :



Obrázek 22: Výpočet obsahu [2]

Tabulka 2: Plochy žeber [2]

Žebro	Plochy žeber poloviční S' [cm ²]	Součinitel	Součin [cm ²]
0	30,6	0,5	15,3
1	52,2	2	104,4
2	67,4	1	67,4
3	74,5	2	149
4	80,2	1	80,2
5	76,5	2	153
6	62,8	1	62,8
7	28,6	2	57,2
8	0	0,5	0
Měřítko 1:5	Součet S'		689,3
	Celková plocha S		1378,6

Pro skutečný člun musíme získanou hodnotu vynásobit měřítkem $5^2 = 25$, takže ve skutečnosti je výsledek

$$\Sigma S = \Sigma S' \cdot 25 = 1\,378,6 \cdot 25 = 34\,465 \text{ [cm}^3] \doteq 3,447 \text{ [m}^3]$$

Takže výtlaček je

$$D = \frac{2}{3} a \cdot \Sigma S = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 3,447 \doteq 1,15 \text{ [m}^3]$$

Jak člun váží víc, je ponor větší, než jsme předpokládali a naopak.

Zůstává ještě určit polohu těžiště výtlaku a to z rovnice

$$x_D = a \frac{\Sigma(n \cdot S)}{\Sigma S'}$$

kde n je pořadové číslo žebra (0-8), takže součin $a \cdot n$ je vzdálenost každého žebra od zrcadla. [2]

Znovu si sestavíme výpočtovou tab. 3.

Tabulka 3: Celková plocha [2]

Žebra	S'	n	Součin	Součinitel	Součin
0	30,6	0	0	0,5	0
1	52,2	1	52,2	2	104,4
2	67,4	2	134,8	1	134,8
3	74,5	3	223,5	2	447
4	80,2	4	320,8	1	320,8
5	76,5	5	382,5	2	765
6	62,8	6	376,8	1	376,8
7	28,6	7	200,2	2	400,4
8	0	8	0	0,5	0
Celková plocha					2549,2

Dosazením do vzorce a dostaneme

$$x_D = 50 \frac{2\,549,2}{689,3} \doteq 185 \text{ [cm]} = 1,85 \text{ [m]}$$

Je to vzdálenost (poloha) těžiště výtlaku našeho člunu od hrany zrcadla. Protože hodnota $L/2 = 2 \text{ [m]}$ vidíme, že těžiště leží za polovinou vodorysky k zrcadlu.

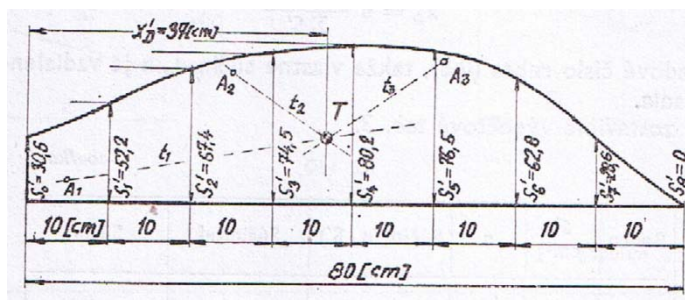
Vyjádřeno v procentech

$$x_1 = \frac{L}{2} - x_D = 2 - 1,85 = 0,15 \text{ [m]}$$

$$x_1 [\%] = \frac{x_1 \cdot 100}{4} = 3,75 \text{ [%]}$$

Navrhovaný tvar celkem nevyhovuje, těžiště má ležet trochu blíže k zrcadlu. To znamená, že přední část se musí víc vynořit, to dosáhneme snížením výšky úhlu na čele člunu. [2]

Hodnotu x_D můžeme určit taky graficky. Na tvrdší papír si nanese v měřítku vypočtenou plochu S' (tedy 1 : 5) délky vodorysek, v našem případě 80 [cm]. Tu rozdělíme na 8 dílů a na kolmice v těchto bodech nanese hodnoty S' . Koncové body spojíme plynulou křivkou. Potom plochu vystříháme a známým způsobem najdeme těžiště obr. 23. Souřadnice těžiště je hledaná vzdálenost těžiště výtlaku, kterou si můžeme odměřit. [2]



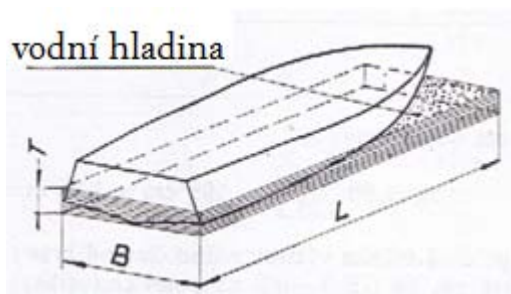
Obrázek 23: Souřadnice těžiště [2]

takže po přepočítání v měřítku

$$x_D = x'_D \cdot 5 = 37 \cdot 5 = 185[\text{cm}] = 1,85[\text{m}]$$

Tvar člunu můžeme ještě vyjádřit tzv. *součinitelem plnosti výtlaku*, co je poměr hodnoty výtlaku a obsahu hranolu, který je v ponořeném objemu opsaný obr. 24

$$\delta = \frac{D}{L \cdot B \cdot T}$$



Obrázek 24: Výtlak člunu [2]

Jak je poměr člunu, podle výkresu 0,35 [m], je

$$\delta = \frac{D_{1,15}}{4 \cdot 1,5 \cdot 0,35} = 0,55$$

Pro motorové čluny je plnost 0,35 až 0,65. Výtlačné čluny mají nižší hodnoty. Pro kluzáky platí rozmezí od 0,45 do 0,65. V tomto úzkém rozmezí bude mít rychlejší člun opět vyšší hodnotu. [2]

2.4 Konstrukce a výpočet člunů s V žebrem

2.4.1 Způsob plavby

Začneme tak trochu od konce. Motorový člun nyní je motocykl. Nemůžeme chtít s motocyklem o obsahu 250 [ccm], který může dosáhnout rychlost 120 [km/h]. Dosáhnout tu samou rychlost na vodě. Odpor vody proti pohybu člunu je velký. Třeba si pamatovat, že rychlost na vodě je velmi drahá. Vysvětlíme si to na příkladě. Máme auto s motorem o výkonu 20 [k]. Za hodinu s ním přejedeme 80 [km] a spotřebujeme 10 [l] benzínu. Motorový člun se stejným motorem přeplave za hodinu maximálně 35 [km], ale spotřebuje až 15 [l] benzínu. To znamená, že náklady na hodinu jízdy jsou až dvojnásobné a někdy na 100 [km] plavby zhruba 4 až 5 násobné v porovnání s autem, který má stejný motor. [2]

Člun má tedy motor o výkonu 20 koní a rychlost 35 [km/h]. Nepředpokládejme, že výkonnějším motorem a dvojnásobným výkonem dosáhneme dvojnásobnou rychlost. Skutečná rychlost bude jen asi 45 [km/h], však draze zaplacená. Navíc všechny tyto úvahy platí jen za předpokladu, že člun je správně navržený. Potom jde o velikost a tvar dna vzhledem k motoru. Velký vliv má použitý druh a tvar lodního šroubu. [2]

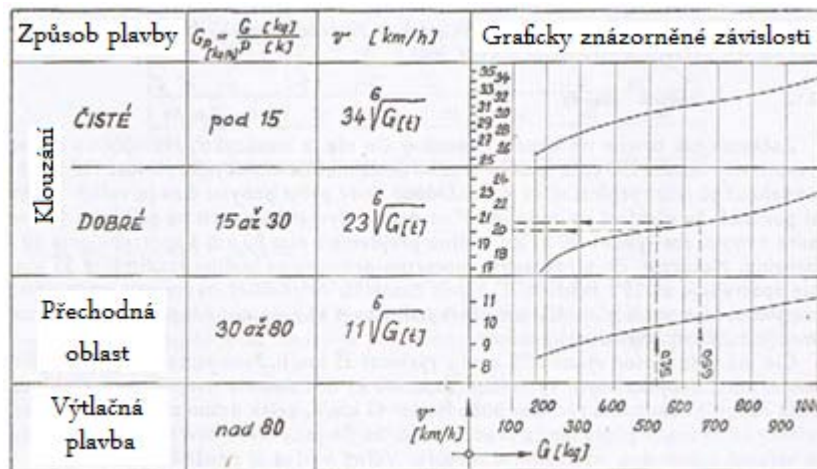
Vysvětlíme si bližší podmínky plavby a chování člunu, teda druhy plavby. Víme už, že každé plovoucí těleso je unášené svým vztlakem. To znamená, že plavat může člun libovolného tvaru a velikosti, pokud má dostatečný vztlak. Na pohyb vpřed na stojaté vodě stačí minimální výkon motoru. Plavba na tekoucí vodě předpokládá výkonnější motor. Pomalé čluny "sedí ve vodě", svoji přední částí rozhrnují a vytlačují vodu dolu a do stran. Tím vznikají vlny. Voda člun obtéká, za zadní částí se opět spojuje. To je typická výtlačná plavba. Čluny, které se pohybují v oblasti výtlačné plavby, nazýváme výtlačné čluny. Do této skupiny patří naprostá většina rekreačních, lidových motorových člunů. Jsou to už čluny otevřené, kajutové nebo velké obytné čluny. [2]

Když si všimneme plavby dobře navrženého a vyhotoveného sportovního motorového člunu (např. kluzáku) máme dojem, že "sedí na vodě". Klouže po hladině, za člunem je ostře ohraničená brázda. Vlny do stran jsou relativně malé. Je to plavba klouzáním. Při tomto druhu plavby loď převážně unáší hydrodynamický vztlak, který zdvihá člun nad hladinu. [2]

Mezi oboje základní druhy plavby je přechodová oblast. Člun, který je způsobilý pro plavbu klouzáním, může plavat jak ve výtlačné jako i v přechodové oblasti. Naopak to však není možné. Výtlačný člun není schopen plavby klouzáním ani plavby v přechodné oblasti, nepomůže ani výkonnější motor. Když koupíme z neznalosti typicky výtlačný člun a naše rekonstrukce se zaměří na výměnu starého (dobrého), ale pomalého motoru za motor letecký určitě nic nevylepšíte. [2]

Jednotlivé druhy plavby dosáhneme jen při určitém poměru plně zatíženého člunu G a výkonu motoru P . Znamená to tedy, že na 1 [k] může připadat určitá maximální tzv. *výtlačná hmotnost* G_p . [2]

V diagramu na obr. 25 je uvedený vzorec pro výpočet vstupní rychlosti v určité oblasti plavby. Vzorec je propočítaný pro rozsah celkové hmotnosti člunu 100 až 1 000 [kg] a může se vyjádřit i graficky. [2]



Obrázek 25: Druhy plavby [2]

Způsob hledání v diagramu, nakreslený čárkovaně se vztahuje na člun hmotnosti 450 [kg] a zatížený trojčlennou posádkou o hmotnosti 200 [kg] tedy celková hmotnost je 650 [kg]. Člun se dostane do oblasti klouzání při rychlosti 21 [km/h]. Stejný člun obsazený jen řidičem (celková hmotnost 520 [kg]) dosáhne klouzání už při rychlosti 20 [km/h]. Výkonná hmotnost musí být $G_p = 15$ až 30 [kg/k]. Potřebný výkon motoru vypočítáme ze vztahu

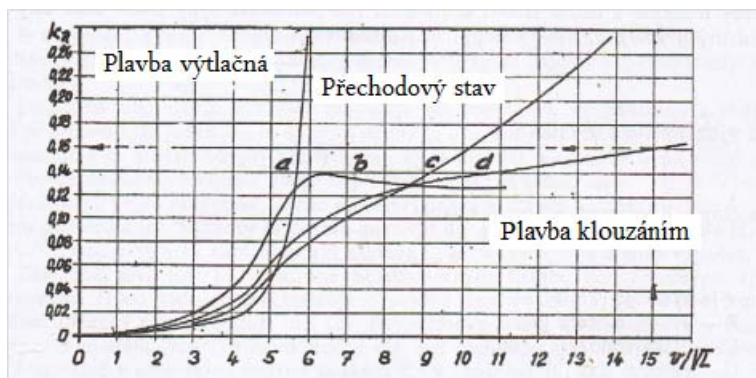
$$G_p = \frac{G}{P}$$

$$P = \frac{G}{G_p} = \frac{650}{15 \text{ až } 30} = 21,7 \text{ až } 43,5 \text{ [k]}$$

Když máme teda dobře navržený člun pro plavbu klouzáním, správně zvolenou vrtuli a motor s výkonem asi 35 [k], budeme opravdu plavat klouzáním. [2]

2.4.2 Odpor, rychlost plavby a výkon motoru

Teoretickou rychlost člunu podstatně snižuje odpor, který klade voda plavajícímu člunu. Víme, že odpor závisí od tvaru člunu a rychlosti plavby. Teoreticky je závislost odporu od rychlosti rekreačních typů člunů znázorněna na obr. 26.



Obrázek 26: Závislost odporu od rychlosti rekreačních člunů [2]

a - výtlačný člun, b - výtlačný člun pontonového tvaru, c - těžký člun s V žebry, d - sportovní kluzák s V žebry

Vidíme, jak odpor prudce stoupá ve výtlačné fázi plavby. Je zajímavé, jak je člun s plochým dnem (pontonový tvar) schopný plavat klouzáním, když výtlačný člun se do kluzu nedostane. Pomocí diagramu na obr. 42 se přiblížíme stanovenému výkonu motoru. Výkon přibližně vypočítáme ze vztahu

$$P = \frac{R \cdot v}{75\eta_N} [\text{k}] \quad R = k_R \cdot G$$

kde R [N] je odpor při určité rychlosti, v [m/s] je rychlost člunu, η_N je účinnost náhonu a vrtule (0,4 až 0,55), k_R je koeficient odporu. [2]

Příklad:

Vypočítáme výkon motoru sportovního člunu s V žebry. Který splňuje z konstrukčního hlediska podmínky pro klouzání a je dlouhý 4,5 [m], ve vodoryse 4 [m]. Se zátěží má hmotnost 450 [kg]. Chceme dosáhnout rychlosti 30 [km/h]

Určíme poměr

$$v/\sqrt{L} = 30/\sqrt{4} = 15$$

Pro vypočtenou hodnotu najdeme v diagramu na obr. 26, použitím křivky d. Velikost koeficientu odporu $k_R = 0,16$

Celkový odpor

$$R = k_R \cdot G = 0,16 \cdot 450 = 720 \text{ [N]}$$

Přepočítáme rychlost

$$v_{[\text{km/h}]} = 30 \frac{1\,000}{3\,600} \doteq 8,35 \text{ [m/s]}$$

Vypočítáme potřebný minimální výkon motoru

$$P = \frac{R \cdot v}{75 \cdot \eta_N} = \frac{72 \cdot 8,35}{75 \cdot 0,4} \doteq 20 \text{ [k]}$$

Pro uvedený sportovní člun potřebujeme teda motor s výkonem 20 [k]. [2]

Jak si naopak vybereme pro člun jiný z motorů, vznikne otázka. Jakou rychlost plavby můžeme s naším člunem dosáhnout. Pro jednotlivé typy člunů platí celá řada přibližných vzorců. Pro výtlačný člun pontonového tvaru

$$v = 2,2 \text{ až } 2,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot L}{G}}$$

Pro výtlačný člun s V žebry

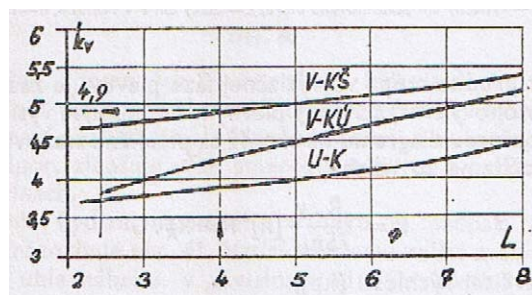
$$v = 3,8 \text{ až } 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot L}{G}}$$

Pro čluny s V žebry schopné klouzání

$$v = k_v \cdot \sqrt{\frac{P}{G} \pm 5[\%]}$$

kde v je rychlost [km/h], P - výkon motoru [k], L - délka vodorysky [m], G - celková hmotnost [t]. [2]

Součinitele k_v najdeme v diagramu na obr. 27.



Obrázek 27: Součinitel k_v [2]

- V - KŠ - široký, kluzu schopný člun s V žebry
- V - KÚ - úzký, kluzu schopný člun s V žebry
- U - K - člun se zaoblenými hranami, schopný kluzu

Příklad:

Jakou asi rychlost může dosáhnout široký člun, dlouhý na vodorysce 4 [m]. Schopný kluzu s celkovou hmotností 550 [kg] a motorem o výkonu 40 [k]. Rychlost vypočítáme podle vztahu

$$v = k_v \cdot \sqrt{\frac{P}{G} \pm 5[\%]} \doteq 4,9 \cdot \sqrt{\frac{40}{0,550} \pm 5[\%]} \doteq 40 \text{ až } 44 \text{ [km/h]}$$

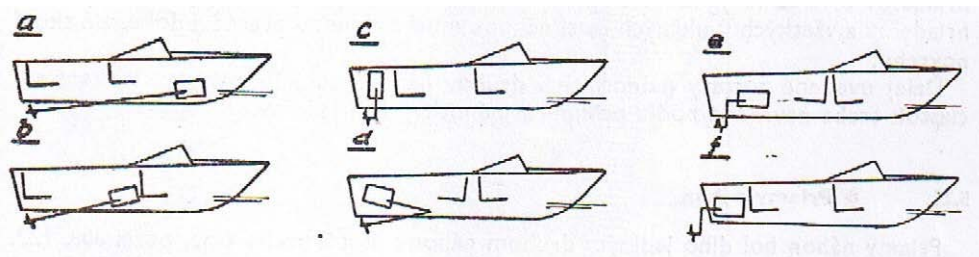
S uvedeným člunem můžeme dosáhnout rychlost 40 až 44 [km/h]. [2]

Třeba upozornit, že na velikost odporu (teda na snížení rychlosti), má velký vliv jakost povrchové úpravy ponořené části člunu. Uvedené výpočty platí pro bezchybně hladký a čistý povrch, který je základem pro plavbu klouzáním. Nepříznivý vliv drsného povrchu se projevuje asi od rychlosti 15 [km/h], od které prudce stoupá s rychlostí. [2]

2.4.3 Uspořádání náhonu

Když se rozhodneme z jakýchkoli důvodů pro stabilně univerzální motor, musíme současně uvažovat i o tom, jaký druh náhonu zvolíme. Druh náhonu ovlivňuje v první řadě poloha motoru v člunu. Umístění motoru zase závisí od velikosti člunu a od jeho půdorysného řešení. Znamená to, že stavitel člunu musí vědět jaký náhon a motor použije dříve než zahájí stavbu člunu. [2]

Na obr. 28 jsou uvedené různé druhy náhonů, tak jako vyplývají z řešení člunu.

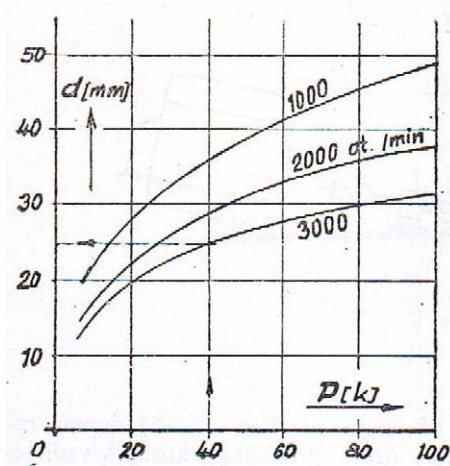


Obrázek 28: Uspořádání náhonu [2]

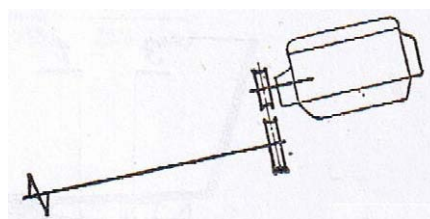
Nejdříve je uveden klasický, přímý náhon a, b. Motor je uložen na čele, nebo zhruba uprostřed člunu. V prvním případě je nevýhodou dlouhá hřídel, v druhém případě větší úhel sklonu hřídele. Speciálním druhem náhonu je tzv. L náhon c. Výhodný je pro malé motory se svislým hřídelem. Je to vlastně princip normálního závěsného motoru. Další obr. 28 d ukazuje velmi rozšířený V náhon. Motor je umístěn těsně u zrcadla, nezabírá příliš místa. Poslední skupinou náhonů představuje tzv. Z náhon e, f, který je v

současnosti v zahraničí nejrozšířenějším náhonem vůbec. Pro loděře (amatéra) má Z náhon velký význam. [2]

Pro všechny druhy náhonů třeba navrhovat průměr hřídele podle výkonu motoru a otáček hřídele z diagramu obr. 29.



Obrázek 29: Návrh hřídele podle výkonu motoru [2]



Obrázek 30: Převodové ústrojí [2]

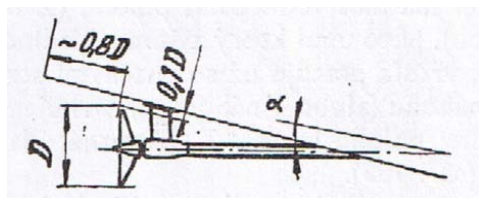
Postup odečtu je nakreslený pro motor výkonu 40 [k] s otáčkami hřídele 3 000 [ot/min]. Pozor však na výslovně uvedené otáčky hřídele! Motor může mít totiž 3 500 [ot/min], ale hřídel náhonu má s vloženým převodem jen 2 000 [ot/min]. Potom hledáme průměr hřídele pro výkon 40 [k], ale pro 2 000 [ot/min]! Uspořádání takové redukce je znázorněné na obr. 30. Převod může být ozubenými koly, řetězovou nebo klínovými řemeny. První případ závisí od obstarání vhodné redukční převodovky. Druhý případ je vhodný, ale hlučný. Převod klínovými řemeny je velmi dobrý a bezhlučný. [2]

2.4.4 Lodní šroub

Lodní šroub je jednou z nejdůležitějších částí člunu, která zásadně ovlivňuje plavební vlastnosti člunu. Správně navržená vrtule zabezpečuje maximální plavební vlastnost určeného člunu.

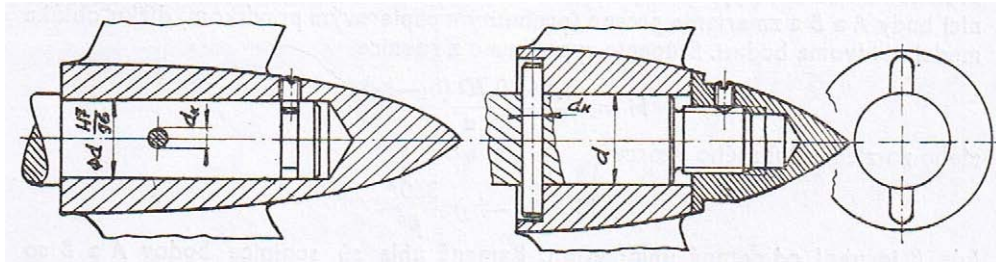
Otázka výběru lodního šroubu by nebyla složitá, pokud by bylo možný výběr lodních šroubů v speciální prodejně. Proto amatérská výroba lodního šroubu je velmi obtížnou záležitostí. Pokud ovšem není k uvedenému motoru dodávána přímo výrobcem sada různých lodních šroubů. Pak si můžeme vybrat takovou, kterou právě potřebujeme. Pokud je to možné snažíme se vždy sehnat originální lodní šroub. Proto při volbě motoru na pevné upevnění, už budeme brát do úvahy i možnost použití lodního šroubu. Hledáme motor, který má přibližně rovný výkon a otáčky. [2]

Za předpokladů že máme lodní šroub, řekněme si několik zásad o jeho správném umístění obr. 31. Hřídel lodního šroubu má mít vodorovnou polohu nebo co nejmenší úhel α . Je to úhel, který svírá s vodní hladinou po dobu plavby. Když sklon překročí hodnotu $15[^\circ]$, lodní šroub pracuje se značnými ztrátami. Znamená to, že při navrhování přímého náhonu navrhujeme jeho rozměry za předpokladu, že úhel v klidné poloze je asi $10[^\circ]$. Ostatní údaje polohy lodního šroubu závisí od velikosti jejího průměru obr. 31. [2]



Obrázek 31: Umístění lodního šroubu [2]

Konec vrtulového hřídele je přizpůsobený tvaru náboje lodního šroubu a může být kuželový nebo válcovaný. Spojení lodního šroubu s hřídelí zajišťuje obvykle kolík. Jeho průměr je stanovený, aby se při nárazu lodního šroubu na překážku ustříhl. Aby se lodní šroub z hřídele nespádl, je ještě zajištěna maticí. Její tvar navazuje na tvar náboje lodního šroubu obr. 32. [2]



Obrázek 32: Upevnění lodního šroubu [2]

Průměr kolíku určíme podle vztahu

$$d_k [cm] = 10 \cdot \sqrt{\frac{P}{n \cdot d}}$$

kde P je výkon motoru [k]

n – otáčky vrtulového hřídele [ot/min]

d – průměr vrtulového hřídele [cm]

Lodní šroub je částí zkroucené plochy. Základní rozměry lodního šroubu je průměr a stoupání. Průměrem D je průměr kružnice, kterou opisuje krajní bod listu lodního šroubu, bez ohledu na to, jestli je lodní šroub dvojlistý nebo trojlistý. Hodnota stoupání H je délka, o kterou by se lodní šroubovice posunula, kdyby byla v záběru s odpovídající maticí, za jednu otáčku. Vzájemný poměr obou charakteristických hodnot bývá

$$H/D = 0,5 \text{ až } 2$$

Na obě hodnoty má vliv hodně činitelů - tvar trupu, hmotnost člunu a charakteristika motoru. Výpočet je velmi složitý. Ukažme si dvě možnosti, které postačí amatérovi. [2]

První způsob uděláme jen odhadem a to pomocí údajů uvedených v tabulkách, druhý způsob je pomocí výpočtu.

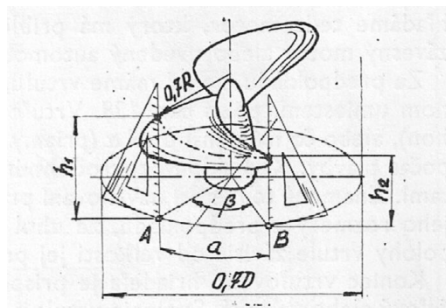
Např. Prvním způsobem jsme si vybrali vhodný typ lodního šroubu, a teď ho budeme hledat u prodejců v obchodě. Změřit průměr lodního šroubu je problém. Měření stoupání, je uvedené na obr. 33. Poté změříme průměr lodního šroubu D , a na papír narýsujeme kruh o průměru $0,7 D$. Lodní šroub, postavíme nábojem přesně na střed kruhu. Pomocí trojúhelníku změříme hodnoty h_1 a h_2 tak, že trojúhelník postavíme na nakreslenou kružnici a odčítáme výšky až po hranu listu. Současně označíme na kružnici body A a B a změříme přesně délku oblouku mezi oběma body. Stoupání vypočítáme z rovnice

$$H = \frac{3,14 \cdot 0,7 \cdot D \cdot (h_1 - h_2)}{a}$$

nebo ze zjednodušeného vzorce

$$H = (h_1 - h_2) \frac{360^\circ}{\beta^\circ}$$

kde β je úhel odměřený úhloměrem. Ramena úhlu jsou spojnice bodů A a B ze středu kružnice. [2]



Obrázek 33: Stoupání lodního šroubu [2]

Lodní šroub jsme vybrali a zůstává už jen prakticky se přesvědčit, jestli vyhovuje. Když budeme mít štěstí, motor dosáhne optimálních otáček, při kterých má největší výkon. Zjistíme rychlost člunu a změříme otáčkoměrem otáčky motoru. Pokud motor nedosáhne při otevřeném plynu potřebné otáčky, musíme zvolit menší stoupání nebo menší průměr, případně obě hodnoty. Když se rozbíhá naopak motor do vysokých otáček (přetáčí se), je třeba zvolit větší stoupání nebo větší průměr lodního šroubu. Pokud se dosažené otáčky motoru neliší víc jak $-5[\%]$ až $+10[\%]$, považujeme vybraný lodní šroub za dobrý. Velký lodní šroub můžeme zmenšit průměru a též stoupání, můžeme částečně upravit. Pro případné úpravy si pamatujeme: Otáčky motoru můžeme změnit o $1[\%]$ změnu hodnoty stoupání, nebo o $1,5[\%]$ změnou průměru lodního šroubu. [2]

Pro přesnější stanovení průměru a stoupání lodního šroubu můžeme používat vzorce

$$D = 1,4 \sqrt[4]{\frac{P}{v \cdot n^2}} [m]$$

$$H = \frac{v}{n \cdot (1 - \varphi)} [m]$$

kde P je výkon motoru [k]

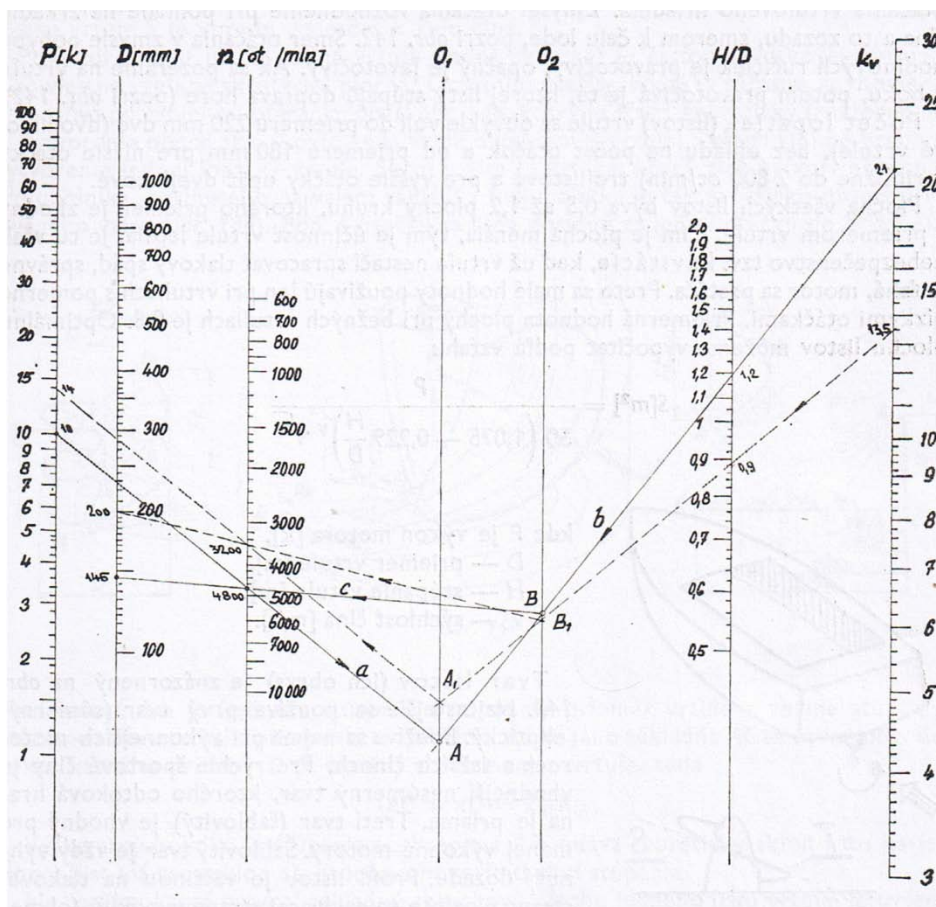
v – rychlost člunu [m/s]

n – otáčky hřídele lodního šroubu [ot/s]

φ – skluz (0,08 až 0,15)

Dobrou pomůckou pro stanovení hlavních rozměrů lodního šroubu je diagram uvedený na obr. 34. Diagram můžeme použít dvěma způsoby:

1. Známe motor (tedy hodnotu výkonu a otáček) a hledáme rozměry lodního šroubu.
2. Máme lodní šroub (známe hodnoty jejího průměru a stoupání) a hledáme vhodný motor.



Obrázek 34: Diagram pro stanovení hlavních rozměrů lodního šroubu [2]

Použití diagramu si vysvětlíme na praktických příkladech:

Příklad 1:

Máme motor výkonu 10 [k], při 4 800 [ot/min]. S navrhnutým člunem předpokládáme dosáhnout rychlost v (35 až 38 [km/h]).

Na stupnici výkonu najdeme hodnotu 10 a na stupnici otáček hodnotu 4 800. Spojnice obou hodnot (přímka a) protíná osu O_1 v bodě A . Rychlostní koeficient k_v vypočítáme ze vztahu

$$k_v = \frac{v}{3,6 \cdot 0,51} = \frac{38}{3,6 \cdot 0,51} = 21$$

Najdeme hodnotu 21 na stupnici k_v a spojíme jí s bodem A (přímka b). Spojnice přetne osu O_2 v bodě B . Bod B spojíme s hodnotou otáček (přímka c). Tam, kde spojnice protne stupnici průměru D , přečteme výsledek. Průměr lodního šroubu $D = 145$ [mm].
[2]

Přímka b protíná též stupnici poměru H/D , kde přečteme hodnotu 1,2. Jak platí

$$H/D = 1,2$$

Potom stoupání je

$$H = 1,2 \quad D = 1,2 \cdot 145 = 175[\text{mm}]$$

Příklad 2:

Máme k dispozici lodní šroub průměru 200 [mm]. Známým způsobem naměříme hodnoty $h_1 = 85$, $h_2 = 44$, $a = 100$. Vypočítáme stoupání

$$H = (85 - 44) \frac{3,14 \cdot 0,7 * 200}{100} = 180 [\text{mm}]$$

takže

$$\frac{H}{D} = \frac{180}{200} = 0,9$$

S člunem miníme dosáhnout 25 [km/h]. Vypočítáme

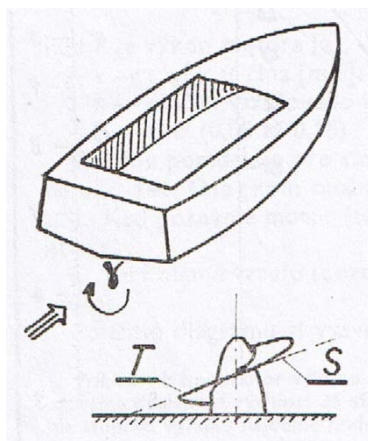
$$k_v = \frac{25}{3,6 \cdot 0,51} = 13,5$$

V diagramu najdeme hodnoty 0,9 (stupnice H/D) a 13,5 (stupnice k_v). Obě hodnoty spojíme (kreslené čárkovaně) přímkou, která přetne obě osy v bodech A_I a B_I . Bod B_I spojíme s hodnotou 200 na stupnici průměrů. Průsečík spojíme se stupnicí otáček a spojíme s bodem A_I . Spojnici protáhneme na stupnici výkonu a přečteme výsledek. [2]

Vhodný motor by měl mít výkon asi 14 [k], při 3 200 [ot/min]. [2]

Hlavní rozměry lodního šroubu dokážeme určit. Seznámili jsme se s konstrukcí lodního šroubu, když se rozhodneme pro amatérskou výrobu. [2]

Pro výběr vhodného lodního šroubu, také při jeho výrobě, musíme dávat pozor na smysl stoupání. Podobně jako může být lodní šroub pravotočivý nebo levotočivý. Smysl stoupání se musí shodovat se smyslem otáčení hřídele lodního šroubu. Smysl otáčení rozhodneme při pohledu na zrcadlo člunu a to zezadu, směrem k přídi loď obr. 35. Směr otáčení ve smyslu pohybu hodinových ručiček je pravotočivý, na druhou stranu je levotočivý. Když se díváme na lodní šroub z boku, potom pravotočivý je ten, které listy stoupají zprava vzhůru obr. 35. [2]



Obrázek 35: Smysl otáčení lodního šroubu [2]

Počet lopatek (listů) lodního šroubu se obvykle volí do průměru 220 [mm] dvě (dvojlistý lodní šroub), bez ohledu na počet otáček a do průměru 180 [mm] pro nižší otáčky (přibližně do 2 800 [ot/min]) trojlistý a pro vyšší otáčky opět dvojlisté. [2]

Plocha všech listů bývá 0,5 až 1,2 plochy kruhu, kterého zhotoví průměr lodního šroubu. Čím je plocha menší, tím je účinnost lodního šroubu lepší. Je tu však nebezpečí

tzv. *kavitace*, kdy už nestačí lodní šroub zpracovávat tlakový spád a motor se přetáčí. Proto se malé hodnoty plochy listů používají jen u lodních šroubů s poměrně nízkými otáčkami. Průměrná hodnota plochy při běžných lodních šroubech je 0,8. Optimální plochu listů můžeme vypočítat podle vztahu

$$S [m^2] = \frac{P}{50 \cdot \left(1,075 - 0,229 \cdot \frac{H}{D}\right) \cdot v \cdot \sqrt{v}}$$

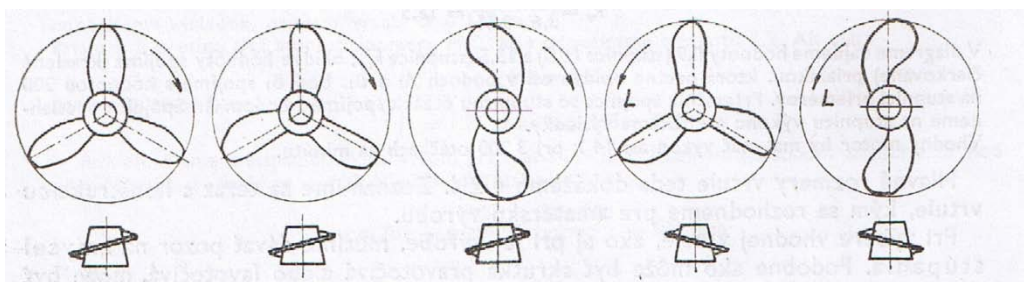
Kde P je výkon motoru [k]

D - průměr vrtule [m]

H - stoupání vrtule [m]

v - rychlost člunu [m/s]

Tvar listů je znázorněný na obr. 36. Nejčastěji se používá tvar (souměrný) eliptický. Používá se nejméně při výkonných motorech a těžkých člunech. Pro rychlé sportovní čluny je vhodnější nesouměrný tvar, kterého odtoková hrana je přímá. Třetí tvar (šavlovitý) je vhodný pro méně výkonné motory. Šavlovitý tvar je vždy vyhnutý dozadu. Profil listů je většinou na odtokové straně plochý a na nasávací straně vypuklý (odvedený buď kruhovým, nebo parabolickým obloukem). List lodního šroubu je tedy ve středu nejužší. Tlaková strana lopatek T je v zadu a nasávací strana lodního šroubu S je vepředu, směrem k čelu člunu. [2]



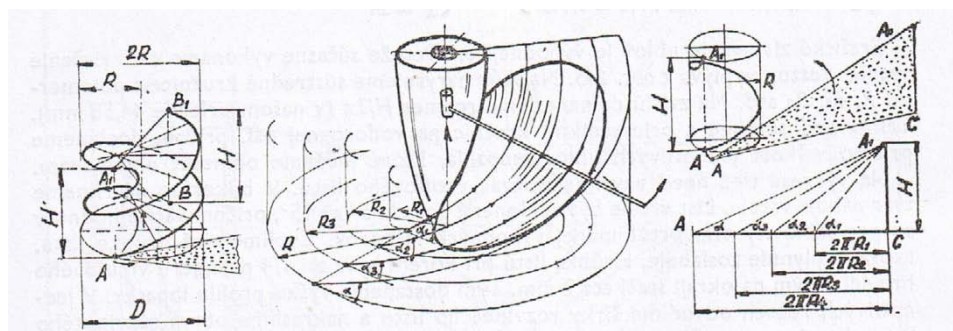
Obrázek 36: Druhy lodních šroubů [2]

Pověděli jsme si už, že lodní šroub je částí šroubové plochy. Jak vlastně vznikne tato plocha? Otáčením úsečky, která se současně rovnoměrně posouvá po své ose otáčení obr. 37, která je zčásti teoretická (pro znázornění ji vytvoříme z obou šroubovic

dvojlistového lodního šroubu), a zčásti ji vidíme přímo vytvořenou jednou lopatkou lodního šroubu. Šroubovice je křivka, kterou vytváří přepona trojúhelníku, navinutého na válec. Základna trojúhelníku je tak velká jako obvod příslušného válce obr. 37. Bod A úsečky se tedy dostane za jednu otáčku do bodu A_1 . Vzdálenost AA_1 je hodnota stoupání. Pro známý průměr lodního šroubu a známé stoupání můžeme teda nakreslit pravouhlý trojúhelník ACA_1 . Jeho základna AC se rovná obvodu válce, kterého průměr D je shodný s průměrem lodního šroubu, teda

$$\overline{AC} = \pi \cdot D = 2 \cdot \pi \cdot R$$

Výška trojúhelníka je stoupání H . Přepona AA_1 udává teoretický sklon listu na jejím konci (list má tedy sklon α), kterému se říká sklon stoupání. [2]



Obrázek 37: Šroubovice lodního šroubu [2]

Na úsečce, která vytváří základní šroubovitou plochu jednoho listu lodního šroubu, je ovšem celá řada bodů. Tyto body mají různé poloměry otáčení, ale stejnou výšku stoupání. Musí se tedy měnit úhel stoupání, který bude mít větší, čím je menší poloměr. Znamená to tedy, že čím je část listu lodního šroubu blíže k ose šroubu (tedy na menším poloměru), tím větší sklon (tedy úhel stoupání) má vzhledem k základní rovině. Toto je velmi důležitý poznatek, který se musí přesně dodržovat při výrobě lodního šroubu. Opakujeme, list lodního šroubu má na jednotlivých poloměrech vždy takový sklon (úhel stoupání), aby měly příslušné šroubovice stejnou výšku stoupání H . [2]

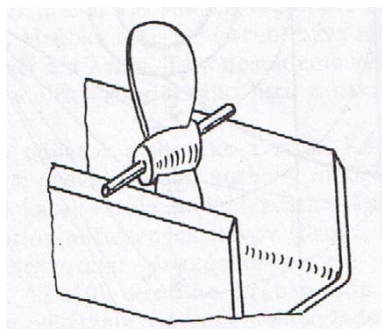
Grafické znázornění úhlů je výhodnější, protože současně vykonáme celé řešení lodního šroubu postup vyplývá z přílohy 1. Nejprve narýsujeme soustředné kružnice s

poloměry R , R_1 , R_2 atd. Na vvislou osu nanese me rozměr $H/2\pi$. Tento bod spojí me s průsečíky kružnic na vodorovné ose, přitom dostaneme přímo velikost jednotlivých úhlů stoupání, které můžeme odměřit úhломěrem. [2]

Na výkrese totiž hned navrhne me tvar listu lodního šroubu. V bokoryse navrhne me tvar náboje lodního šroubu. List lodního šroubu bývá skloněný dozadu $5[^\circ]$ až $15[^\circ]$, přičemž větší hodnoty jsou pro šavlovitý tvar lodního šroubu pro méně výkonné motory. Zvolíme též tloušťku listu, která se plynule zeslabuje. Tloušťka listu bývá asi $4/4$ průměru hřídele lodního šroubu, který na okraji stačí cca 2 [mm]. Tím dostaneme výšku profilu lopatky. V jednotlivých řezech odvodíme šířky rozvinutého listu a nakreslí me obrys rozvinutého listu jako i tvar profilů. [2]

Lodní šroub vyhotovíme jako odlitek nebo jako svařenec. Když chceme lodní šroub odlévat, musíme si nejdříve zhotovit dřevěný nebo voskový model. Forma musí být z velmi jemného písku. Materiál pro lití je buď slitina lehkých kovů (vhodné pro amatérské lití), nebo slitina neželezných kovů (bronz, mosaz). [2]

Odlitek nebo hotový svařenec lodního šroubu musí být bezchybně opracovaný. Listy musí být vybroušené a vyleštěné. Hrubý povrch listů totiž velmi zhoršuje účinnost lodního šroubu. Opracovaný lodní šroub nasadíme na trn obr. 38, upevní me do hrotů a zkusíme otáčet, jestli neháže a jestli sklon všech lopatek je stejný. Lodní šroub nesmí při otáčení opisovat osmičku. Pro vyrovnání nerovností vrtuli vyváží me. Položí me trn na dva ostré podélné hroty, ležící na rovině, pokud je některý list vrtule těžší, klesá a roztáčí lodní šroub. Opatrně odebírá me pilníkem trochu materiálu. Takto postupujeme, až vrtule zůstane v libovolné poloze stát. Potom ji definitivně přešetíme brusnou pastou na hadrovém kotouči. [2]



Obrázek 38: Vyvážení lodního šroubu [2]

Je si třeba uvědomit, že když člun nedosáhne předpokládanou rychlost, nemusí být chyba v málo výkonném motoru, ale spíše v nevhodně zvoleném lodním šroubu.

3 Realizace modelu katamaránu

V praktické části bych rád více přiblížil způsob tvorby a uvedl základní kroky k dosažení mého cíle. Popíši stavbu a výběr součástí pro model katamaránu.

3.1 Stavba modelu katamaránu

Nejprve než začne samostatná stavba modelu, musíme důkladně prostudovat stavební plány příloha 2. Poté musíme nakoupit požadovaný materiál. Když máme prostudované plány a nakoupený materiál, jdeme na stavbu modelu.

Připravíme si papírové šablony tvaru žeber, které přeneseme na překližku. Vezmeme lupínkovou pilku a vyřežeme a obrousíme do požadovaného tvaru. Připravíme si určité lišty, tvary těchto lišt vyřežeme na požadované místo dle stavebního plánu. Uděláme přibližný tvar modelu sestavením lišt a vyřezaných žeber. Nyní nesmíme zapomenout na další díly, které budeme přichycovat do trupu lodi. Motorové lože připravíme na dubovou lištu šrouby. Dále uchycení pro servo, které bude pohybovat lodním šroubem a také jeho vedení. Takhle připravený skelet lodi, který musíme slepit. Připravíme si desku, na které budeme model lepit. Na tuto desku si přeneseme z plánu tvar a umístění žeber. Vezmeme pomocné přípravky, na které přišroubujeme vyrobená žebra. Připevníme na přesné místo na desce. Takto připravený tvar modelu musíme slepit. Lepit budeme dvousložkovým lepidlem (epoxidem). Necháme zaschnout nejlépe do druhého dne. Pokud je lepidlo suché, sbrousíme trup modelu, aby byl pokud možno hladký.

Připravíme si potah. Vybral jsem materiál balzu, protože je jednoduše opracovatelná. Vyřízneme si přibližné tvary potahů. Nejprve si vyřízneme spodní části modelu a přilepíme je. Poté přilepíme dolní bočnice, které dosedají přesně na dno. Až lepidlo zaschne, zbylé přesahy zabrousíme. V potahování budeme pokračovat na

plovácích zespoda. Zase přilepíme a po zaschnutí vybrousíme. Teď je čas na bočnice, které přilepíme. Přesahy, které nám přečnívají, ořežeme a zbrousíme. Na řadu přichází vnitřní lakování spleného modelu epoxidovým lakem. Po zaschnutí nalakujeme alespoň třikrát, aby balza dostatečně ztvrdla. Poté pro nepotopitelnost modelu, můžeme plováky vyplnit polystyrenem. Ten nám zajistí plování modelu, kdyby se do modelu zespoda udělala díra a do modelu vnikla voda. Po naplnění plováků polystyrenem, je čas dokončit palubu lodí. Z balzy vyřízneme tvar paluby a nalepíme ji. Ještě musíme potáhnout prostřední špičku. Balzu nařežeme na klínky, aby se nám dobře lepili na kuželovitý tvar špičky. Na řadu přicházejí dolepit přední špičky, které jsem zhotovil z kusu balzy. Do takto potaženého modelu nyní přijde zabudovat vedení hřídele. Vrtačkou uděláme otvor do dna a vyfrézujeme ji do požadovaného sklonu. Nyní očistíme na místech, kde budeme lepit, smirkovým papírem. Pouzdro zasuneme do předpřipraveného otvoru a zalepíme. Po zaschnutí udělám balzový klím, který přijde na pouzdro hřídele zespodu lodí. Tento klín bude pevně držet pouzdro. Nyní se musí udělat přívod chladicí vody pro motor a regulátor. Přivedl jsem jí dvojicí trubiček, které jsem přilepil k pouzdru hřídele. Zepředu i zezadu jsem dodělal klín, aby voda dobře obtékala a nevznikaly zbytečné turbulence vody.

Nyní musíme udělat kryt pro vybavení lodí. Kryt jsem zhotovil z odlehčených žeber. Do nichž jsem vyřezal profily lišt nahoře a po bocích. Následně slepil přímo na lodi, abych dosáhl co nejpřesnějšího dosednutí na trup lodí. Potáhl jsem ho balzou. Balzu jsem uřízl na tvar krytu. Po té ponořil do vařící vody, aby byly poddajnější a mohl je vytvarovat podle skeletu krytu. Vyjmul jsem je z vody a dal na požadované místo, přichytil modelářskou gumičkou, aby se balza vytvořila podle tvaru žeber krytu, nechal uschnout a následně sundal a přilepil. Pro přichycení do trupu lodí jsem použil dva silonové šrouby M5. Jedním šroubem je kryt přichycen ze shora, druhým šroubem je kryt přichycen do zadního čela. Kokpit je vyroben z průhledného, tvrzeného PVC tloušťky 4 mm. Nejprve jsem vyrobil kopyto, to nám dá tvar kokpitu. Předehřál jsem PVC na plastickou teplotu a do něj otiskl kopyto. Tím je vytvořen polotovár, který se musí lupínkovou pilkou vyříznout a napasovat na horní část lodí. Takto vytvořený

kokpit nalepit na horní část lodi. Celý model katamaránu je třeba minimálně třikrát nalakovat epoxidovým lakem, aby se zpevnil.

Teď nás čeká tmelení a broušení. Nejprve začneme vybroušením. Musíme dávat dobrý pozor, abychom neprobrousili potah. Nahrubo vybroušený model natmelíme. Po zaschnutí zase vybrousíme a takto pokračujeme, až je povrch modelu hladký. Po této operaci můžeme na modelu provést konečnou povrchovou úpravu. Použil jsem obyčejný autoemail. Pokud máme nalakovanou a zaschlou barvu nanese ozdobu. Ozdoby mohou být buď stříkané přes šablony lakem, nebo vyříznuté na plotru ze samolepící folie. Pro ozdoby jsem použil jednodušší metodu pomocí plotru. Na jedné straně popis tvoří: název lodě a označení motoru, který je použit. Na druhé straně popis tvoří: kategorii, do které model spadá. Pravidla pro tuto kategorii jsou uvedena v příloze 3.



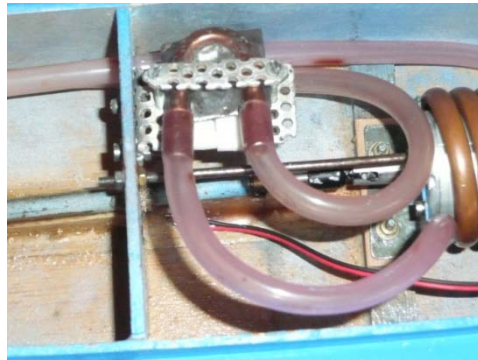
Obrázek 39: Boční pohled HD - 11



Obrázek 40: Zadní pohled HD - 11

Nesmíme zapomenout na odvedení ztrátového tepla z regulátoru a motoru. Nabízí se jako nejvhodnější vodní chlazení. Teplo z motoru budeme odvádět pomocí chladiče provedeného z měděné trubičky o $\varnothing 6$ [mm]. Tento chladič obepíná plášť motoru a jeho výroba je následující: trubičku byla navinuta na menší průměr než je motor, aby při montáži dostatečně pevně přilnula na motor, aby odpor přestupu tepla co nejmenší. Když byla trubička hotova, tak je nutné ji navléknout na motor. Dalším chladičem, který budeme řešit je chladič regulátoru. Zde je vhodné použít deskový chladič, tento

zrealizujeme z měděného plechu, na který připájíme meandr z měděné trubičky o $\varnothing 6$ [mm]. Trubička je připevněna měkkým pájením k základně. Připravené chladiče nainstalujeme a propojíme pružnou hadičkou od sání po výtok z lodi.



Obrázek 41: Chlazení regulátoru a motoru

3.2 Elektronické vybavení

3.2.1 Výběr pohonu modelu

Pohon se skládá z několika částí: z motoru, hnací hřídele a lodního šroubu. Nyní představím mojí koncepci pohonu.

V dnešní době je obtížné vybírání motorů, protože jich je strašně moc. Musel jsem brát v potaz několik faktorů. Jeden z nich je odpor celého modelu vůči vodě. Jeho chlazení, aby se nepřehříval a poté neshořel. Na trhu jsou dva druhy motorů stejnosměrné a střídavé. Stejnosměrné motory jsou jednoduché na výrobu a na regulaci otáček. Mají obtížné chlazení, problematické části (uhlíky). Tyto motory, se hojně využívaly v minulosti, protože jejich regulace je jednodušší. V nedávné době se začaly hojně rozšiřovat střídavé pro jejich lepší parametry. Bylo obtížnější je regulovat, ale s nástupem výpočetní techniky je to jednoduché. Nemají tolik poruchových částí jako motory stejnosměrné.

V tomto modelu je použit stejnosměrný motor SPEED 600 ECO. Jeho parametry jsou:

Tabulka 4: Parametry motoru SPEED 600 ECO [7]

Nominální napětí	7,2	[V]
Rozsah napětí	6 - 9,6	[V]
Otáčky	11 000	[min ⁻¹]
Proud bez zátěže	1	[A]
Proud při maximální účinnosti	7,5	[A]
Maximální proud	50	[A]
Účinnost	72	[%]
Hmotnost	220	[g]



Obrázek 42: Motor SPEED 600 ECO [7]

Pro tento motor jsem použil akumulátor Turnigy 5000mAh 2S 20C. Parametry jsou:

Tabulka 5: Parametry aku. Turnigy 5000mAh 2S 20C [8]

Kapacita	5 000	[mAh]
Konfigurace	2S1P / 2 články / 7,4 V	
Trvalý proud	20	[C]
Špičkový proud	30	[C]
Hmotnost	282	[g]
Servisní konektor	JST-XH	
Konektory	4	[mm]



Obrázek 43: Akumulátor Turnigy 5000mAh 2S 20C[8]

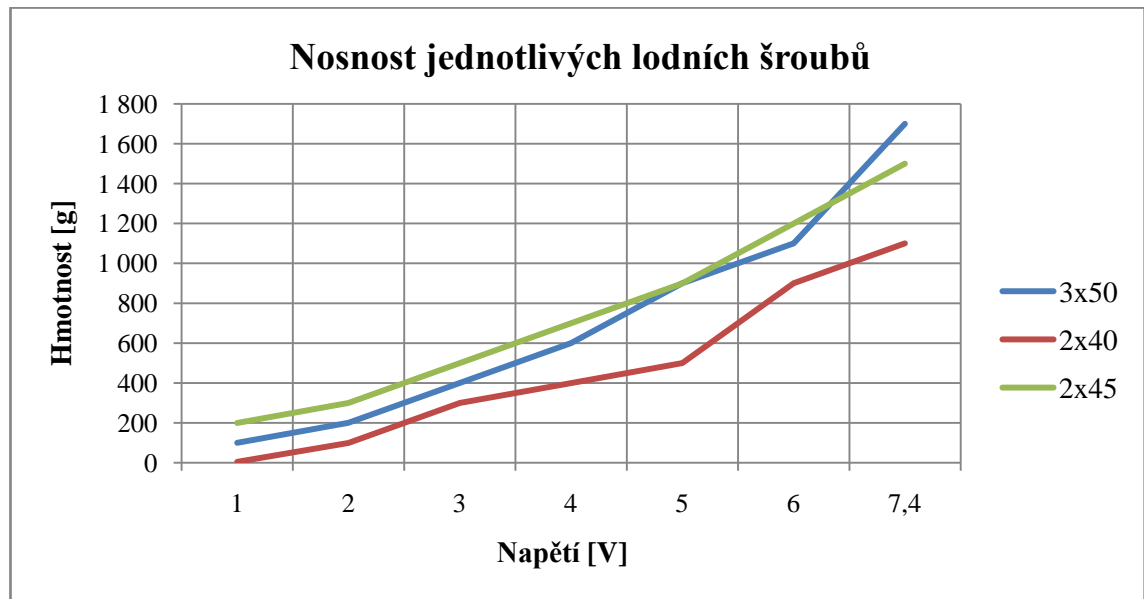
U tohoto modelu je hnací hřídel rozdělena na dvě části. Pevná hnací hřídel je pevně uchycena do modelu, pohyblivá hřídel nám umožní zatáčení modelu pomocí lodního šroubu. Pevná hnací hřídel je zhotovena z ocelové, válcované kulatiny o \varnothing 4 mm. Pouzdro hřídele je zhotoveno z mosazné, slabostěnné trubičky o \varnothing 7 mm. V ní jsou dvě kluzná ložiska z mosazi, které drží hřídel ve středu. Takto je udělána i druhá část hnací hřídele. Není jen přidělaná přímo do lodi, ale je připájena na kormidlo. Kormidlo drží válcovaná kulatina, která umožní otáčení. Spojení mezi motorem a pevně uchycenou hřídelí je zprostředkováno jednoduchým kardanem. Ve spodní části modelu je také jednoduchý kardan. Na konci pohyblivé hřídele je vyříznut závit M4 pro připevnění lodního šroubu.

Lodní šroub není tak jednoduché navrhnout. Dá se vypočítat, ale je to značně náročné. Musí se určit odpor modelu na vodní hladině, hmotnost a charakteristika motoru. U modelů se to provádí zkouškami, neboť je k dispozici značné množství lodních šroubů a lze vybrat optimální - dvoulisté, třílisté a mnoholisté. Stoupání a také její průměr hraje velkou roli. Zkoušel jsem dvoulisté a třílisté různých stoupání a průměrů. Na testování jsem měl následující lodní šrouby:

Tabulka 6: Parametry lodních šroubů

průměr [mm]	počet listů	stoupání [°]	Proud motoru [A]
40	2	15	8
40	3	15	8
45	2	15	12
45	2	30	15
50	3	15	12

K testování jsem použil jednoduchou konstrukci se siloměrem, nádobu s vodou, ampérmetr a voltmetr. Měřící zařízení jsem zhotovil z držáku, na který jsem připevnil siloměr. Na tento siloměr jsem připevnil motor se závažím. Poté jsem zapojil motor přes regulátor, přijímač a do baterie. Mezi motor a regulátor jsem připojil voltmetr a ampérmetr, abychom zjistili zatížení motoru. Nastavoval jednotlivá napětí a na siloměru odečítal síly, které motor s jednotlivými vrtulemi dosahoval. Z těchto hodnot jsem sestavil odr. 41. Poté jsem změřil maximální proud, který přes motor procházel při jednotlivých lodních šroubech. Motor musí pracovat v rozmezí jmenovitých proudů, aby nedošlo k jeho přehřátí a tím k poškození.



Obrázek 44: Nosnost jednotlivých lodních šroubů

3.2.2 Výběr regulátoru

Regulátorů pro modely lodí je veliké množství. Vybíral jsem pro uvedený motor co nejlepší regulátor. Podle parametrů motoru, aby byl dostatečný svým výkonem.

Vybral jsem regulátor Turnigy 30A. Tento regulátor má nastavitelnou brzdu pomocí jumperu. Volí se typ baterií buďto NIMH nebo LiPol články, také pomocí jumperu. Při zvolení LiPol baterií si regulátor hlídá napětí jednotlivých článků. Při poklesu pod 3 [V] na jednom článku postupně regulátor snižuje výstupní výkon. To je kvůli tomu, aby se nepoškodily. Výstup je řízen pulzně šířkovou modulací a to frekvencí 2 [kHz]. Tepelná ochrana zareaguje při překročení 110 [°]. Při ztrátě signálu po dobu 1 [s] postupně ubírá výkon, když do 2 [s] ztratí signál zcela, dojde k vypnutí.

Tabulka 7: Parametry regulátoru Turnigy 30A [9]

Konstantní proud	30	[A]
Maximální proud	40	[A]
SBEC mode	1/5	[A/V]
Akumulátor LiPol	2 - 3	článků
Akumulátor NiMH	4 - 10	článků
Hmotnost	21	[g]
Rozměry	45x21x8	[mm]



Obrázek 45: Regulátor Turnigy 30A [9]

3.2.3 Výběr vysílače a přijímače

U tohoto modelu jsem použil starší modelářský vysílač Hitec Flash 5 a přijímač Hitec micro 555. Tato vysílač i přijímač je s řízením FM signálu na frekvenci 35,190 MHz a kanálu 79.

Vysílač je 5 kanálový. Jeho využití je hlavně pro modely letadel. Pravý joystick má dvě funkce. První funkce je přidávání plynu (pohyb nahoru a dolů) a druhá funkce je ovládání křidélek u letadla (pohyb doprava a doleva). Druhý joystick má také dvě funkce. První funkce je výškovka letadla (nahoru a dolů) a druhá funkce je směrovka letadla (doprava a doleva). Dále jsou u joysticků trimovací tlačítka pro doladění nulové polohy řídicích částí. V horní části jsou přepínače pro pátý kanál, učitel žák a pro další nastavení vysílače. V dolní části je vypínač, display, tlačítka a krystal.



Obrázek 46: Vysílač Hitec Flash 5

Přiřazení kanálů je následující:

kanál 1 - křídélka

kanál 2 - výškovka

kanál 3 - plyn

kanál 4 - směrovka

kanál 5 - další přidavné zařízení

Přijímač je pouze 4 kanálový.

Pro tento model jsem použil pouze dva kanály.

Kanál 4 je použit na kormidlo. Kanál 3 je použit na regulátor otáček.



Obrázek 47: Přijímač Hitec micro 555

3.2.4 Výběr pohonu kormidla

Pohon kormidla pro tento model je vybráno servo, které pohání přes převod přímo lodní šroub. Servo je připevněno do trupu lodě. Přes jeho výstup je připevněn držák kloubků. Táhlá jsou připojena kloubky, které jsou na druhé straně přes kloubky připevněny do držáku. Druhý držák je přichycen červem na válcovanou hřídel. Hřídel je upevněna přes kluzné ložisko. Na konci tohoto hřídele je připájena konzola, která drží druhou část hřídele. Na konci tohoto mechanismu je na závitu uchycena lodní vrtule.

Pro pohon kormidla jsem vybral servo Monza SSA35. Jeho parametry jsou:

Tabulka 8: Parametry serva Monza SSA35 [10]

Napájecí napětí	4,8-6,0 [V]
Moment	2,9 [kg*cm] při 4,8 [V] 3,5 [kg*cm] při 6,0 [V]
Rychlost	0,2 [s/60°] při 4,8 [V] 0,16 [s/60°] při 6,0 [V]
Hmotnost	38 [g]
Rozměry	40,7 x 20 x 38,2 [mm]



Obrázek 48: Servo Monza SSA35 [10]

4 Závěr

Cílem projektu bylo teoreticky popsat funkci plavidla a navrhnout jeho zhotovení. Jako typ modelu lodi byl zvolen katamarán s popisem důležitých výrobních celků modelu. Hlavním cílem v mé praktické části bylo zhotovení modelu a jeho odzkoušení. Model byl odzkoušen na vodní hladině, viz video v příloze 5.

Vyhodnocení jednotlivých parametrů modelu:

- a) Vyvážení modelu statické a dynamické – poloha modelu na hladině splnila předpokládané podmínky stability podélné i příčné, pro plavbu lodi.
- b) Druh plavby klouzáním modelu je splněn částečně, je reálný předpoklad, že tento parametr bude splněn - viz bod c.
- c) Zvolený pohon je svým výkonem nedostatečný, model nedosahuje ideálně klouzavé plavby. Při zkoušce na vodní hladině je zřejmé, že dochází částečně k plavbě výtlačné.
- d) Ovladatelnost modelu na vodní hladině byla výborná a potvrdily se předpoklady výborné manévrovatelnosti při použití otočné části pohonné hřídele.
- e) Chlazení motoru a regulátoru je dostatečné.

Tato práce mi přinesla mnoho zkušeností se stavbou a výběrem součástí do modelu katamarán. Tato práce se dá využít jako učební text pro základní popsání fungování plavidel a stavbu modelů lodí.

5 Seznam použitých zdrojů a literatury

Literatura:

[1] OLDŘICH, Lepil, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝDLOVÁ. *Fyzika: Pro střední školy*. Praha4: Prometheus, 2004. ISBN 80-7196-184-1.

[2] ZDENĚK, Oppl a Josef KOVAČÍK. *Postave si motorový čln*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1972.

Elektronické zdroje:

[4] Catamaran. *Wikipedia.org* [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Catamaran>

[7] SPEED 600 ECO 7,2 V. In: *Rcm.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.rcm.cz/e-shop/elektromotory-prislusenstvi/stejnospmerne/graupner/speed-600-eco-7-2-v-id:1006.eshop>

[8] Turnigy 5000mAh 2S 20C. In: *Emotors.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.emotors.cz/turnigy/830-turnigy-5000mah-2s-20c.html>

[9] Turnigy 30A ESC. In: *Emotors.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.emotors.cz/472-turnigy-30a-esc.html>

[10] Monza SSA35. In: *Peckamodel.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/serva-a-prislusenstvi/ostatni-vyrobc/ssa35-servo-monza-38g-3-5kg>

[11] *Soutěžní pravidla FSR V-H-O* [online]. 2012 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.svazmodelaru.cz/odbornosti/klom/pravidla/pravidla_fsr_30.pdf

6 Seznam příloh

- 1) Grafické znázornění lodního šroubu
- 2) Stavební plán katamaránu
- 3) Naviga - Soutěžní pravidla FSR
- 4) Fotografie celkové lodi
- 5) Video

Přílohy jsou uloženy na přiloženém DVD.