

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor SOČ: 09. strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design**

**Vznášedlo**

**Lukáš Bezdíček**

**Brno 2014**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 09. strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

**Vznášedlo**

**Hovercraft**

**Autor:** Lukáš Bezdíček

**Škola:** Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola  
technická Brno, Sokolská 1

**Kraj:** Jihomoravský

**Konzultant:** Odstrčilová Martina, Ing.

**Brno 2014**

## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval(a) samostatně a použil (a) jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.*

*Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.*

*Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.*

V Brně dne 17.3.2014

podpis: .....

# Anotace

Při stavbě vznášedla bylo téměř nemožné najít detailnější informace o principech stavby normálních, ale i rádiem řízených vznášedel. Při hledání a tázání jsem zjistil, že téměř každý, kdo se o vznášedla trochu zajímá, dokáže bez problémů popsat jeho princip.

Překvapením pro mne a ostatní potencionální stavitele ale bylo, že ve skutečnosti ostatní se stavbou vznášedla žádné hlubší zkušenosti nemají a od setkání s někým takovým mne dělí tisíce kilometrů. Vydal jsem se tedy cestou zjišťování něčeho, co už možná bylo zjištěno, ale zatím nepublikováno. Hlavním cílem je zjištění, jaké výhody a nevýhody mají složitější typy skirtů, které zatím nikdo lépe nepopsal. Dále jsem chtěl také nabrat zkušenosti pro pozdější stavbu v reálné velikosti.

**Klíčová slova:** Vznášedlo; skirt; model na dálkové ovládání; stavba

## Obsah

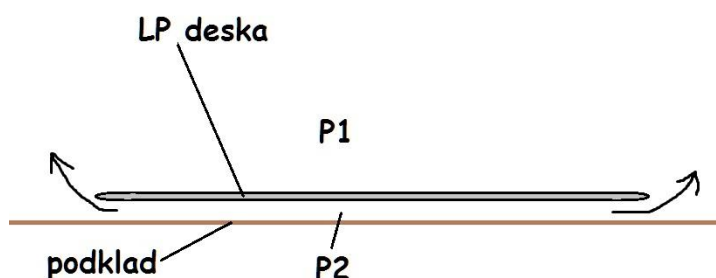
|       |                                |    |
|-------|--------------------------------|----|
| 1     | Úvod.....                      | 6  |
| 2     | Princip vznášedla.....         | 7  |
| 3     | Uspořádání těla vznášedla..... | 9  |
| 3.1   | Typy pohonů.....               | 10 |
| 3.2   | Typy řízení.....               | 11 |
| 4     | Skirt.....                     | 13 |
| 4.1   | Druhy skirtů.....              | 14 |
| 5     | Stavba vznášedla.....          | 18 |
| 5.1   | Prototypy.....                 | 18 |
| 5.1.1 | Gramofonová deska.....         | 18 |
| 5.1.2 | Vznášedlo z papíru.....        | 19 |
| 5.1.3 | Vznášedlo z krabice.....       | 19 |
| 5.1.4 | Vznášedlo ze sololitu.....     | 20 |
| 5.2   | Výběr materiálů.....           | 21 |
| 5.2.1 | Tělo vznášedla.....            | 21 |
| 5.2.2 | Materiál skirtu.....           | 21 |
| 5.2.3 | Pohon a řízení.....            | 23 |
| 5.3   | Stavba těla vznášedla.....     | 25 |
| 6     | Porovnání skirtů.....          | 26 |
| 6.1   | Stavba skirtu finger.....      | 26 |
| 6.2   | Zjištěné rozdíly.....          | 28 |
| 6.3   | Řešení.....                    | 29 |
| 7     | Převoz břemene.....            | 31 |
| 8     | Závěr.....                     | 32 |

# 1 Úvod

Vznášedlo je dopravní prostředek, který jen tak nepotkáte. Dokáže zaujmout nejen svojí nevšedností, ale i stylem jakým se pohybuje. Také je však vznášedlo tolik nevšední, že je problém zjistit i něco víc, než jen princip jak funguje. Proto se snažím tyto detaily zjistit vlastní cestou a zkoušením. Proto jsem začal objevovat zákonitosti vznášedla, které jsou možná lidem, kteří se kolem nich pohybují, zcela jasné.

## 2 Princip vznášedla

Vznášedlo využívá k pohybu vzduchový polštář, který ho udržuje téměř bez kontaktu s podkladem. Díky tomu se vznášedlo chová stejně na všech površích. Například na vodě, ledu, sněhu, bahně, písku, hlíně, trávě i betonu. V ideálním případě by vzduch z prostoru pod vznášedlem neunikal a vznášedlo by se pohybovalo bez odporu tření. V reálu je tomu samozřejmě jinak. Vzduch musí být pod vznášedlem zadržován skirtem <sup>1)</sup>, který nikdy netěsní natolik dobře, aby vzduch z prostoru pod vznášedlem neunikal. Navíc ve snaze zabránit v unikání vzduchu občas dochází ke kontaktu s podkladem a vzniká tak malý, přesto nezanedbatelný, odpor. Pokud vzduch unikne, vznášedlo se přestane pohybovat po vzduchovém polštáři, tlaková síla vzduchu, která tlačí na „břicho“ vznášedla a drží ho nad zemí se zmenší a vznášedlo se začne přibližovat k podkladu. Lze to vysvětlit na příkladu, hodíme-li například LP desku <sup>2)</sup> nebo list papíru na rovnou plochu stolu jako na obr. 1.



Obrázek 1: LP deska na stole

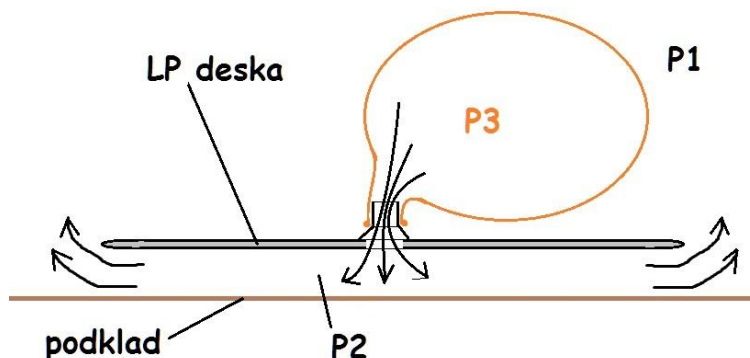
Dokud je pod LP deskou vzduch, deska se pohybuje po stole v ideálním případě bez tření. Protože je tlak  $P_2$  větší než  $P_1$ , začne vzduch z prostoru s větším tlakem unikat do prostoru s tlakem nižším. Jakmile však vzduch z prostoru pod deskou unikne, deska se přestane pohybovat v důsledku tření mezi LP deskou a stolem. Vznášedlo začne dřít o podklad, dokud se nezastaví.

Toto je vyřešeno vháněním vzduchu do prostoru mezi podkladem a vznášedlem. Objem vháněného vzduchu za jednotku času musí být větší než objem vzduchu, který z prostoru pod vznášedlem uniká za jednotku času bez vhánění vzduchu (obr. 1.). V tomto případě vznikne mezera mezi podkladem a vznášedlem, aby přebytečný objem vzduchu měl kam unikat. Vznášedlo tak tlačí na podklad celou plochou pomocí tlaku vzduchu pod ním. Na naší LP desce to lze simulovat přilepením uzávěru z nápoje Jupík do středu desky. Na něj

<sup>1)</sup> Z anglického slova „skirt“. V překladu sukně, manžeta či planžeta po obvodu vznášedla. Viz. kap. 4. Skirt.

<sup>2)</sup> Dlouho hrající gramofonová deska.

je navléknut balonek, který svým vyfukováním se vhání vzduch do prostoru pod deskou. Deska se tak může klouzat po stole bez tření, dokud se balonek nevyfoukne (obr. 2.).



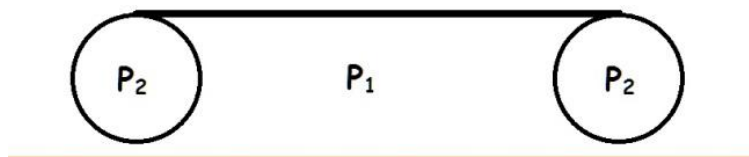
Obrázek 2: LP deska s balonkem

Pokud dokážeme vhánět větší objem za jednotku času, zvětší se mezera mezi podkladem a deskou. V případě na obr. 2. je mezera několik desetin milimetru. U velkých vznášedel nám ale stávající technologie neumožňují vhánět pod vznášedlo tak velký objem vzduchu za jednotku času, aby se mezera zvětšila natolik, že by vznášedlo dokázalo zdolat nerovný terén. Kdyby vznášedla byla konstruována jako deska z našeho příkladu, dokázala by jezdit pouze po hladkém podkladu.



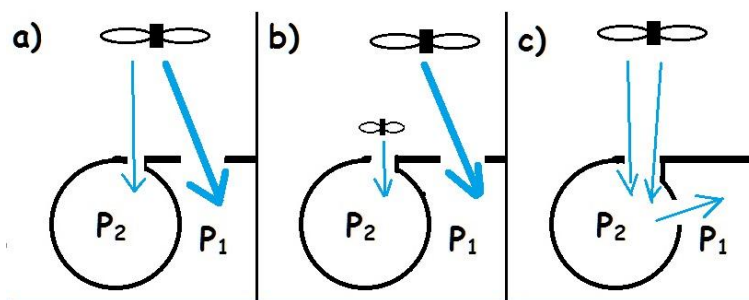
### 3 Uspořádání těla vznášedla

Zaměříme se na varianty se skirtem komorovým, jak je znázorněno na Obrázek 3.



Obrázek 3: Tlaky ve skirtu vakovém

Tlak  $P_1$  na obr. 3. nadnáší vznášedlo a tlak  $P_2$  drží tvar skirtu. Tlak  $P_2$  by tedy měl být větší než tlak  $P_1$ . Zároveň však platí, že čím menší mezi nimi bude rozdíl, tím lepší bude schopnost skirtu kopírovat nerovnosti, protože půjde snáze deformovat. Lze toho docílit několika způsoby, které jsou na obr. 4.



Obrázek 4: Řešení nafukování skirtu

V části a) vháníme vzduch pod vznášedlo i do skirtu jedním zdrojem, přičemž kanály by měly být zvoleny tak, aby do oblasti pod vznášedlem proudil co největší objem a do skirtu pouze tlak.

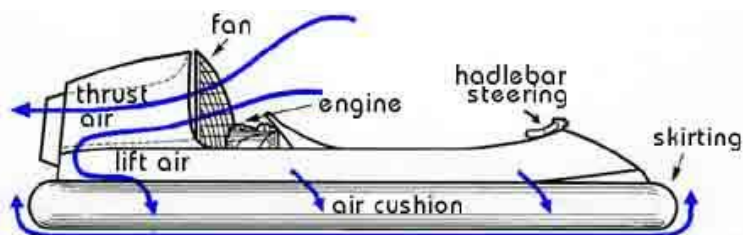
V části b) je použit přídavný zdroj, kterým nafukujeme skirt a můžeme tak regulovat nafouknutí skirtu nezávisle na vhánění vzduchu pro vzhos vznášedla. To je sice výhodné, ale pro RC vznášedla nepoužitelné. Zbytečná váha a spotřeba navíc.

Nejdůmyslnějším je způsob v části c). Všechn vzduch je vháněn do skirtu. Tím jej nafoukne, aby držel tvar a až poté proudí vzduch pod vznášedlo. Rozdíl mezi tlaky  $P_1$  a  $P_2$  můžeme měnit změnou velikosti otvorů ve skirtu. Zároveň je docíleno toho, že tlak  $P_2$  bude

vždy větší než  $P_1$ . Při vznesení vznášedla, např. při skoku, zanikne tlak  $P_1$ , ale tlak  $P_2$  drží skirt nafouknutý a připravený na dopad. Nevýhodou je, že otvory se do skirtu může dostat voda. Proto musí být umístěny co nejvýš. Tohoto uspořádání využívá i segmentový skirt.

### 3.1 Typy pohonů

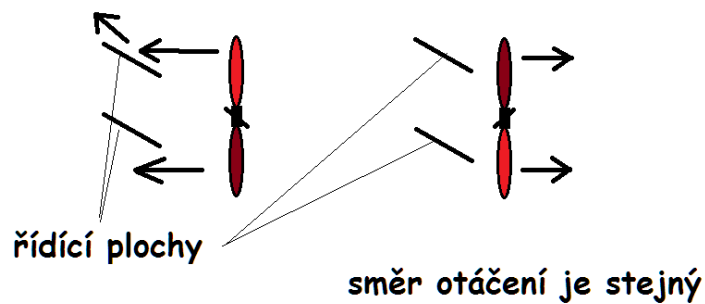
Pohonů vznášedel je mnoho typů. Zaměříme se na ty základní. Základem jsou většinou jeden nebo dva spalovací motory. Nejpoužívanější je uspořádání s jedním spalovacím motorem a jednou vrtulí. Vrtule částí fouká za vznášedlo a částí pod něj – obr. 5. [1].



Obrázek 5 [1]: Uspořádání s jedním motorem

Tento způsob je jednoduchý a šetří váhu. Nevýhodou je, že nejde vznos a tah ovládat nezávisle a že nelze nepoužít skruž kolem vrtule. Používá se u sportovních vznášedel na závody. Motor by měl mít kolem 50-ti koňských sil. Výkonnější vznášedla mají až 145 koňských sil.

Další možností je jeden motor a dvě vrtule. Jeden motor pohání zároveň dvě vrtule, na které je síla přiváděna klínovými řemeny, kardanem nebo kombinací obou. Tady většinou také nelze ovládat vznos a tah odděleně. U některých vznášedel je ale použita stavitelná vrtule pro tah, takže motor má konstantní otáčky nastavené na to, aby se vznášedlo vznášelo a tah se ovládá nastavením listů zadní vrtule. Pokud se listy natočí na negativní úhel, vznášedlo může i couvat. Není to ale příliš praktické, protože vrtule tak přestane ofukovat řídicí plochy a při couvání nelze řídit, jak je znázorněno na obr. 6.



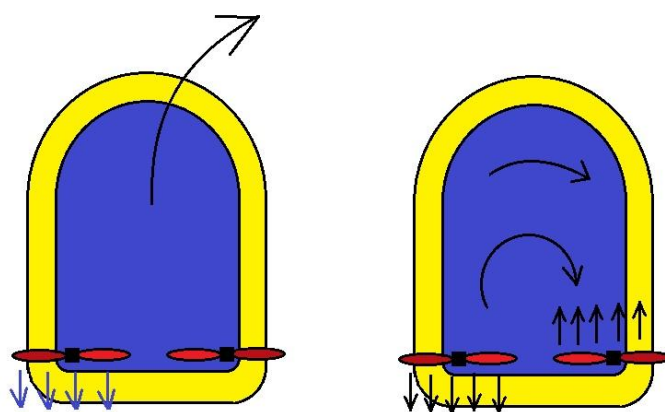
Obrázek 6: Stavitelná vrtule při couvání

Nejsofistikovanější je použití dvou motorů. V přední části vznášedla se nachází malý motor s vrtulí, který vhání vzduch pod vznášedlo. V zadní části se nachází větší motor, který vznášedlu umožňuje pohyb. Výhodou je, že můžeme vznosný motor nastavit na konstantní otáčky podle toho, po jakém terénu se pohybujeme a nechat ho běžet stále. Většinou je takové vznášedlo schopno jezdit po velmi nerovném terénu, protože pro vznos má vyhrazený celý výkon vznosného motoru. Ten nemusí být nijak moc velký. Navíc je dosaženo ideálního vyvážení vznášedla, co se týče těžiště.

Další možnosti jsou např. použití více vrtulí, umístěných na otočné věže, čehož využívají velká nákladní vznášedla třeba na kanálu La Manche. Díky tomu se mohou pohybovat všemi směry. S tím souvisí způsoby řízení.

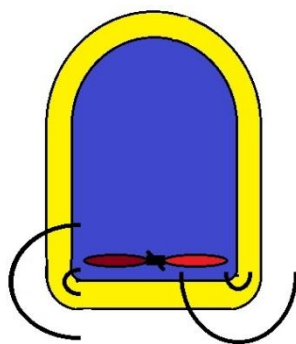
## 3.2 Typy řízení

Jednou z možností je již zmíněný způsob s natáčejícími se vrtulemi, ale vzhledem k setrvačnosti rychle se otáčející vrtule jí nejde natáčet dostatečně rychle. Také i samotný mechanismus je složitá záležitost. Další variantou je „tankové“ řízení. V zadní části vznášedla jsou dva motory, které jdou ovládat nezávisle. Při spuštění levého motoru vznášedlo začne zatáčet doprava, jak je znázorněno na obr. 7. vlevo.



Obrázek 7: Vznášedlo řízené "tankovým" způsobem

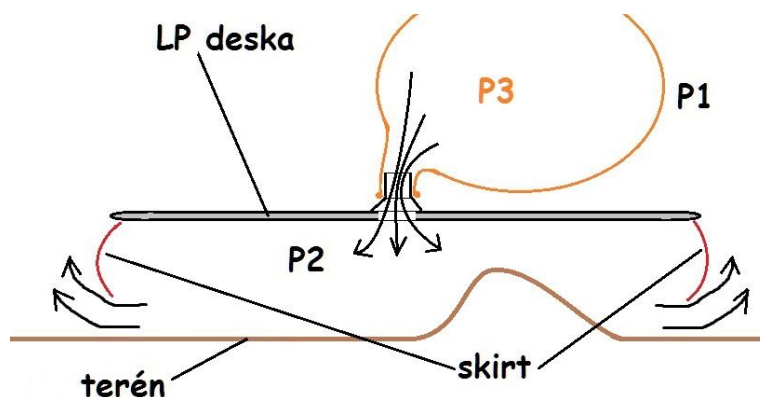
Na obr. 7. vpravo je znázorněn případ, kdy se vznášedlo může otáčet na místě. Při použití levotočivé i pravotočivé vrtule lze při jízdě vpřed odstranit problém s točivým momentem motoru, který se u jednovrtulových vznášedel snaží vznášedlo převrátit a naklápí ho na stranu. Tento způsob řízení se používá pouze u RC vznášedel, u kterých není regulace elektrických motorků problém. Nejrozšířenější je řízení kormidly, umístěnými za pohonnou vrtulí. Tento způsob je nejjednodušší. Pilot má říditka nebo volant, jimiž táhly natáčí kormidla. Pro větší účinnost můžou být plošky až čtyři. Podle mého zjištění však na RC vznášedle jsou více než dvě plošky zbytečné, pokud mají dostatečnou plochu. Některá vznášedla pro lepší manévrovatelnost používají patentovaný systém průduchů, kterým dokáží proud vzduchu otočit téměř o 180°, takže mohou brzdit motorem nebo se otáčet na místě. Pro názornost obr. 8.



Obrázek 8: Systém průduchů

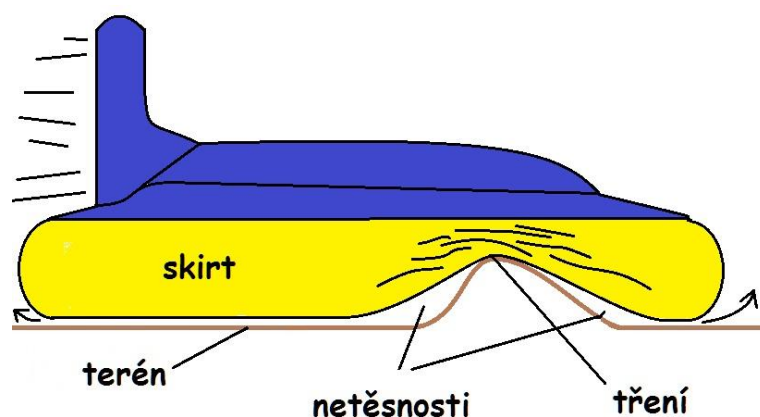
## 4 Skirt

Jedná se o planžetu po obvodu vznášedla, zadržující vzduch pod vznášedlem. Skirt je nejdůležitější a nejdůmyslnější součást vznášedla. Skirt určuje, jaký terén bude vznášedlo schopno překonat, jak bude stabilní a jak bude rychlé. Na obr. 9. je znázorněn, jak by vypadal na našem příkladu s LP deskou.



Obrázek 9: LP deska se znázorněným skirtem

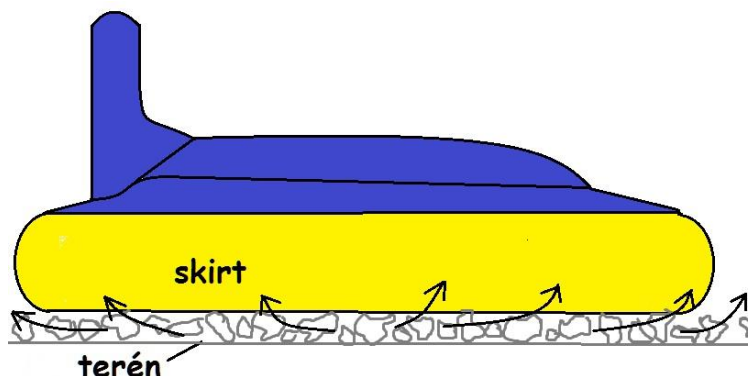
Jak je znázorněno na obrázku, skirt vznášedlu umožňuje vznášet se i nad nerovným terénem. Bez skirtu by LP deska dřela o každou nerovnost vyšší než několik desetin milimetru. S nerovným terénem přibývá spousta problémů. Hlavním z nich je těsnění skirtu při najetí skirtem na nerovnost. Musí být měkký, ale zároveň musí držet tvar i při odtržení vznášedla od země, protože po dopadu by vznášedlo dopadlo na břicho a řidič by musel čekat, než se znovu vytvoří vzduchový polštář. Pro názornost obr. 10.



Obrázek 10: Znázornění tření a netěsností při průjezdu terénem

Pokud jsou netěsnosti takové, že skirt není schopen udržet pod vznášedlem dostatečný tlak, vznášedlo klesne až na podklad. Tření mezi podkladem mu zabrání v pohybu. Musí být zvýšen buď objem vháněného vzduchu nebo zlepšit schopnost skirtu kopírovat terén. Toho lze docílit výběrem jiného typu skirtu (viz. kap. 4.1 Druhy skirtů). Na obr. 10. je označeno

i místo tření, které vzniká při kontaktu skirtu s terénem. To lze minimalizovat výběrem typu skirtu, konstrukcí vznášedla a jeho materiálem. V některých případech však skirt nemůže zabránit unikání vzduchu. Například při jízdě po šterku, vysoké trávě nebo jiném prodyšném podkladu, jak je znázorněno na obr. 11. To se týká hlavně malých RC <sup>3)</sup> vznášedel.



Obrázek 11: Problém s prodyšným terénem

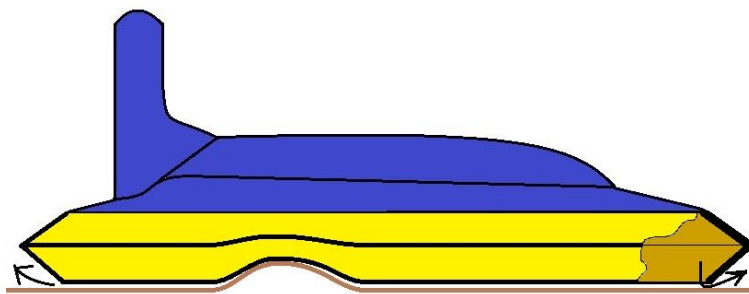
V tomto případě lze pouze zvýšit objem vháněného vzduchu. Pokud se nestihne vhánět dostatečné množství vzduchu, vznášedlo se přestane vznášet.

## 4.1 Druhy skirtů

Kvůli těmto vlastnostem existují různé druhy skirtů. Každý má výhody i nevýhody. Různé typy jsou pro různý terén a pro jiný typ konstrukce vznášedla. Dokonce je lze kombinovat, aby bylo dosaženo maximálního výkonu. Druh skirtu také má vliv na spotřebu vznášedla a materiál na životnost skirtu. Pokud tedy víme, že se vznášedlo bude pohybovat po hrubém terénu, musíme skirt vyrobit z pevnějšího a oděru vzdorného materiálu, na úkor jeho schopnosti kopírovat terén. V této práci je dále popsána stavba pouze modelu RC vznášedla, takže je možné prodírání materiálu trochu podcenit. Nejjednodušší variantou je jednotěnný skirt. (obr. 12.)

---

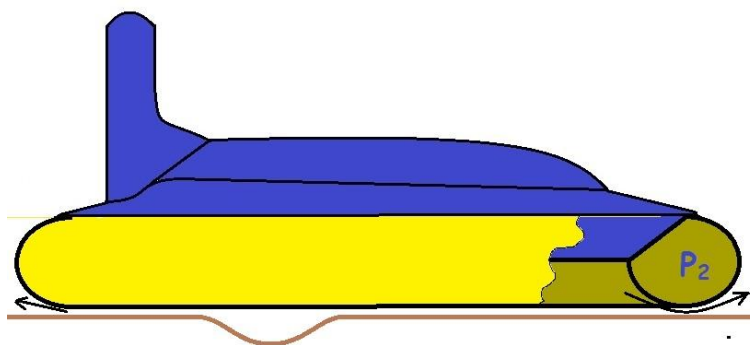
<sup>3)</sup> Z angl. radio control – rádiem řízený, dálkově ovládaný.



Obrázek 12: Jednostěnný skirt

Ten musí být z tvrdého materiálu např. z gumy nebo z tlusté tkaniny, aby držel tvar. To má za následek horší schopnost kopírovat terén a větší tření při najetí na nerovnost mezi skirtem a terénem.

Na vodu se tento skirt nehodí. Sice se ostrá hrana na vodu nelepí, ale v zadní části skirt nabírá vodu a to zvětšuje odpor tolik, že se vznášedlo začne chovat jako loď. Navíc nelze použít tak tvrdý materiál, aby skirt zcela držel tvar. Při zániku polštáře, např. při odtržení od podkladu, se musí vzduchový polštář znovu nafukovat a vznášedlo se na tu dobu zastaví. Velkou výhodou je však jednoduchost na výrobu. Řešením může být dokonalejší komorový skirt na obr. 13.



Obrázek 13: Skirt komorový

U tohoto skirtu je díky tlaku  $P_2$  možné použít jemnou tkaninu, která dobře kopíruje terén. Tlak  $P_2$  udržuje skirt nafouknutý v připravené poloze i když se vznášedlo na okamžik vzdálí od země. Při tom je skirt tvarově stálý a zároveň poddajný. Má také dlouhou životnost a nehrozí riziko roztržení. Je však náročnější na přesnost a vyžaduje počítačový 3D model. Jediná možnost, jak mohou vzniknout netěsnosti, je velký výmol pod úroveň terénu, což je znázorněno na obr. 13. Další nevýhodou je, že velkou plochou dosedá na hladinu vody, což vede k velkým odporovým silám. Přesto je podle mého názoru na vodu nejvhodnější.

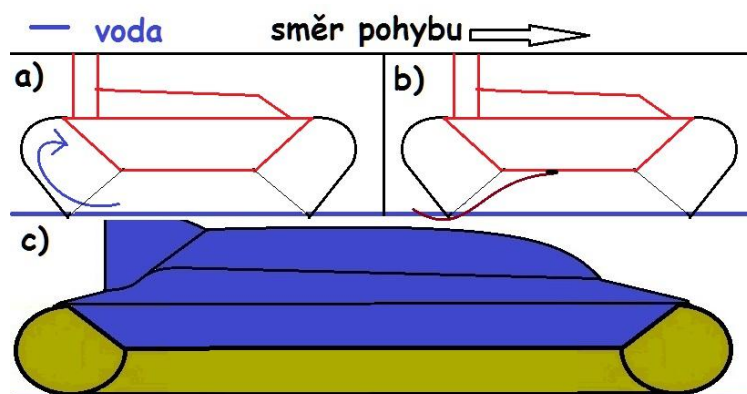
Při použití skirtu na vodě, musí být zajištěna ochrana proti natečení vody do komory skirtu. Pokud se tam voda dostane, zůstane tam a skirt se může na jedné straně vznášedla částečně ponořit. Vznášedlo se pak začne chovat jako loď s velkým odporem, který je vrtule těžko schopna překonat. Problém s natečením vody do skirtu a s výmolem pod úroveň terénu řeší skirt typu finger. Jedná se o segmentový skirt. Každý segment (prstík) se přizpůsobuje podkladu individuálně a ztráty vzduchu jsou tak minimální. Nevýhodou je možnost zachytit např. o kořen vyčnívající z terénu a možnost roztržení segmentů, především segmentů na zadní straně vznášedla. Ty však jdou po jednom velmi rychle vyměnit za náhradní. Další nevýhodou je velmi pracná výroba. Každý segment vyžaduje mnoho šití a na vznášedle jich je mnoho. Pro názornost obr. 14 [1].



Obrázek 14 [1]: Vznášedlo se segmentovým skirtem při skoku

Tento skirt, jak je patrné z obrázku, je také jeden z těch, které dokáží držet tvar i při absenci podkladu díky důmyslnému vhánění vzduchu dírou do každého prstíku zvlášť. Používá se na závodní výkonná vznášedla pro jednu až dvě osoby. Na obr. 15. je znázorněno, jak se skirt typu finger chová na vodě v porovnání s komorovým skirtem.





Obrázek 15: Problém skirtů při jízdě po vodě

Na obr. 15. a) je šipkou znázorněna snaha vody naplnit skirt. Při tom vzniká velký odpor a vznášedlo brzdí. To lze vyřešit přidáním folie či tkaniny přes zadní část skirtu. Vznášedlo tak může na vodě dosáhnout vyšší rychlosti a lepší manévrovatelnosti. Větší tření při jízdě po zemi se skirtem na obr. 15. b) je u velkých vznášedel zanedbatelné. U jednodílného komorového skirtu je vidět větší dosedací plocha na hladinu, ale hrana, o kterou by se voda rozrážela, tím zanikla.

Další možností, kterou není třeba dále rozepisovat, je jejich kombinace. Např. přední část segmentová a zadní komorová. U velkých vznášedel jsou jakoby dva skirty nad sebou. Vrchní z nich je komorový a na něj zespodu navazují segmenty typu finger. Tím se spojí výhody obou, ale velmi se zvýší náročnost na výrobu, takže je zbytečné se tímto dále zabývat.

## 5 Stavba vznášedla

Abych mohl skirty porovnat v praxi, bylo zapotřebí vznášedlo postavit. Kvůli finanční i časové náročnosti a dalším aspektům jsem zvolil stavbu RC vznášedla ve zmenšeném měřítku. Můžu však s čistým svědomím tvrdit, že model vznášedla v rozumném zmenšení bez konstrukčních rozdílů má stejné vlastnosti a jízdní projev jako vznášedlo skutečné.

### 5.1 Prototypy

Začal jsem samozřejmě hledáním, jak funkční model vznášedla staví ostatní. Jedná se ale o téma nerozšířené a mladé, takže jsem našel spíše velmi zjednodušené verze RC modelů vznášedel a s jejich projevem jízdy jsem nebyl spokojen. Nejschůdnější variantou pro mě bylo tedy postavit pár prototypů.

#### 5.1.1 Gramofonová deska

Prvním byla již zmíněná gramofonová deska s balónkem, která je na obr. 16.



Obrázek 16: Prototyp vznášedla z LP desky

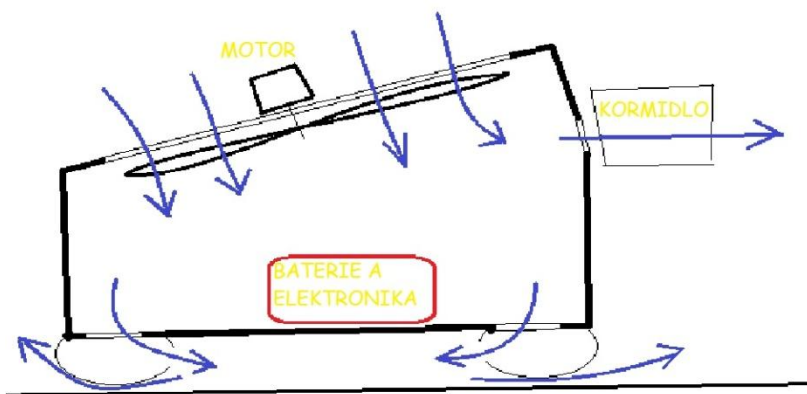
S tímto vznášedlem jsem pochopil princip a oblíbil si ladnost pohybu po vzduchovém polštáři.

## 5.1.2 Vznášedlo z papíru

Dalším prototypem bylo vznášedlo s pohonem pouze vznosu, které bylo z tvrdého papíru a skirt z kancelářského papíru. Typ skirtu jsem použil z obr. 12. Kvůli tuhému skirtu se ale pohybovalo, stejně jako deska, pouze po hladkých površích a neuneslo ani své baterie.

## 5.1.3 Vznášedlo z krabice

Po předchozích zkušenostech jsem pro další verzi použil lehké ale výkonné lithium polymerové akumulátory a výkonný střídavý modelářský motor. Nyní jsem již testoval funkci komorového (vakového) skirtu a konstrukci na obr. 4. c). Pro jednoduchost jsem použil krabici od dortu Marlenka. Koncepti znázorňuje obr. 17.

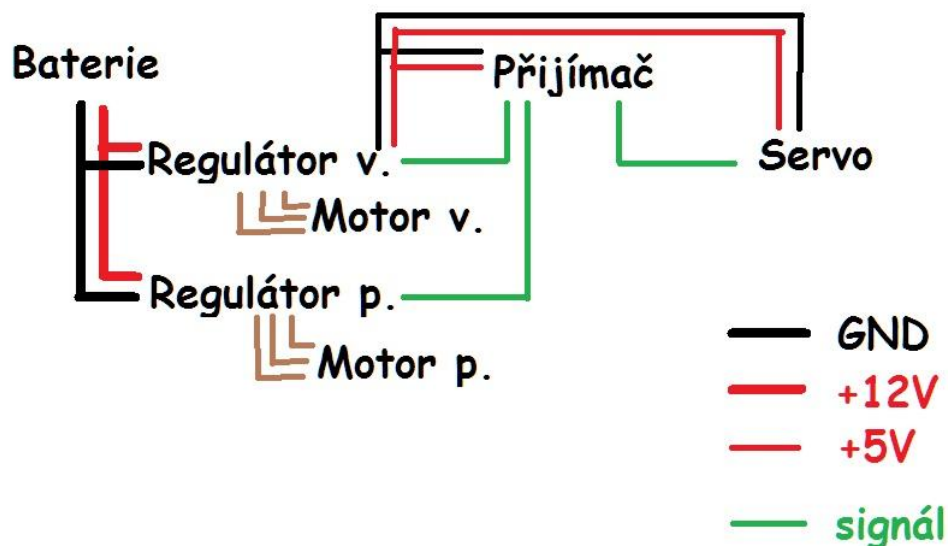


Obrázek 17: Prototyp vznášedla z krabice

Toto vznášedlo bylo jednomotorové a dopředný pohyb obstarával proudící vzduch z průduchu v zadní části, který byl směřován kormidlem, takže vznášedlo bylo schopno zatáčet. Zde byl velmi dobře patrný efekt, který vzniká u vrtulníků. Moment potřebný k otáčení vrtule totiž kvůli zákonu akce a reakce působil přes upevnění motoru na vznášedlo. To se začalo mírně otáčet proti směru rotace vrtule a muselo být kormidlem korigováno. Tento jev se vyskytuje v malé míře i u mého finálního modelu, ale vzhledem k jeho dobré ovladatelnosti není nijak nepříjemný. U velkých vznášedel je kvůli jejich hmotnosti a malé vrtuli tento jev nepatrný. Skirt byl zhotoven z mikrotenového sáčku lepeného lepící páskou. Konstrukce komorového skirtu se osvědčila. Toto vznášedlo již bylo schopno přejet školní sešit. Díky tomuto prototypu jsem ale objevil nový problém. Při nepřesném lepení nebyl skirt rovnoměrně ve styku s podkladem a v některých místech vzduch unikal. Při prvních pokusech se dokonce vznášedlo vůbec nevzneslo. Nebylo možné nikde najít postup, který by toto eliminoval.

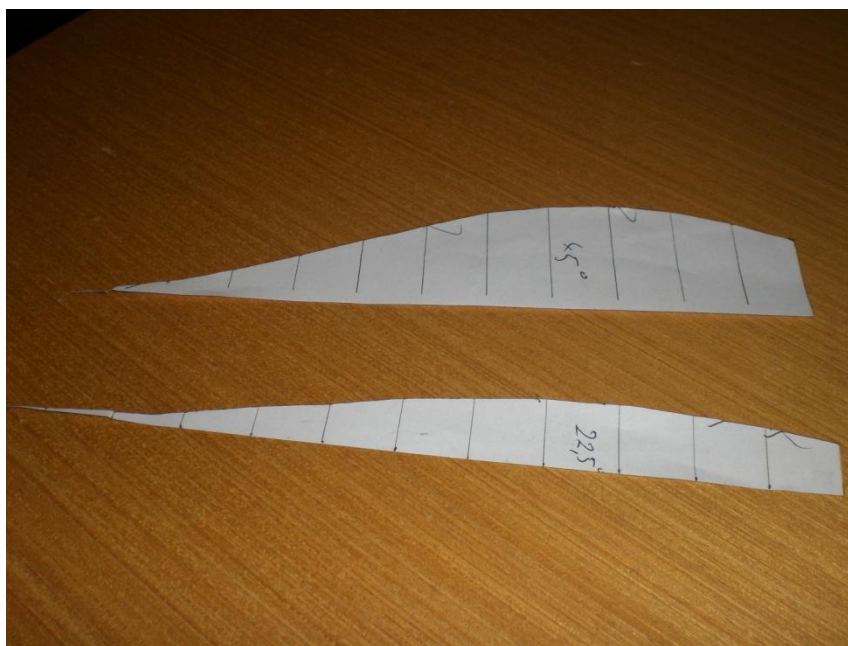
## 5.1.4 Vznášedlo ze sololitu

Sololit<sup>4)</sup> tvarem a váhou připomíná překližku. Na vznášedlo se ale nehodí, protože je dokonce těžší a přitom nemá žádnou pevnost ve srovnání s překližkou. Tento materiál jsem přesto použil, protože jsem zrovna nic jiného k dispozici neměl. Z něj jsem postavil podvozek vznášedla. Nyní jsem již použil dva motory - jeden pro vznos a druhý pro pojezd. Jejich zapojení je shodné s finálním modelem. (obr. 18.)



Obrázek 18: Schematické znázornění zapojení elektroniky

Problém s tvarem skirtu jsem vyřešil tak, že jsem si z 3D programu souřadnicově převedl křivky do 2D a udělal si šablony které jsou na obr. 19.



Obrázek 19: Šablony pro šití vakového skirtu

<sup>4)</sup> Tvrdá dřevovláknitá lisovaná deska

Protože po obvodu podvozku vznášedla je sedm 45°úhlů a dva 22,5°, potřeboval jsem dvě křivky. Jednu pro úhel 45° a druhou pro úhel 22,5°. Podle nich jsem si pak vyrobil šablony a ty překreslil na materiál. Nejdříve se jednalo o rozřezaný starý nafukovací bazének, později jsem koupil látku. Obojí má své výhody a nevýhody. Výsledek z nafukovacího bazénku je zachycen na přiloženém videu.

## 5.2 Výběr materiálů

### 5.2.1 Tělo vznášedla

Aby vznášedlo bylo co nejlehčí, rozhodl jsem se pro podvozek použít deskový polystyren prodávaný pod obchodním názvem depron. Mám s ním mnohaleté zkušenosti při stavbě letadel a pro vznášedlo je vyhovující. Jediným nedostatkem je jeho malá životnost a malá tvrdost. Při pár malých nárazech se po čase zcela zdeformuje. Pokud ale chci vznášedlo lehké, musím volit lehké materiály na úkor pevnosti. Lehké vznášedlo snadněji manévruje, spotřebovává méně energie a uveze více nákladu. Jedinou nevýhodou je jeho nižší maximální rychlost, která je ale i tak dostačující. Podle naměřených hodnot přes 30 km/h na asfaltu. Těžké vznášedlo by lehce překonalo 60 km/h ale špatně by se řídilo. Toho se domnívám na základě zkušeností s motorem, kdy se nacházel v RC modelu větroně, který dosahoval bez problémů rychlostí převyšujících 100 km/h ve stoupavém letu.

### 5.2.2 Materiál skirtu

Materiálů skirtu jsem vyzkoušel mnoho. Nejlepší výsledky na vodě měl materiál z nafukovacího bazénku. Ten jsem však brzy zavrhl, protože při jízdě po sněhu nebo při nižší teplotě ztuhl a držel svůj poslední tvar. Také by se rychle prodřel. (obr. 20.)





Obrázek 20: Skirt z PVC

Dalším materiálem, který jsem zkoušel byla technická tkanina. Ta byla dostatečně neprodyšná pro použití na vodě a téměř nebylo možné ji prodřít ani dlouhým používáním na hrubém terénu. Byla však bez ohledu na teplotu nepoddajná a těžce kopírovala terén. (obr. 21.)



Obrázek 21: Skirt z technické tkaniny

Nejlepších výsledků jsem dosáhl až s tenkou tkaninou z umělých vláken, která byla mírně prodyšná, takže vznášedlo se po vodě dokáže pohybovat jen krátkou chvíli ale je poddajná, takže na pevnině dobře kopíruje nerovnosti. Je také možné v maximální rychlosti přejet zpomalovací pás na silnici aniž by vznášedlo nadskočilo. Když uvážíme měřítko, byla

by tato překážka pro velké vznášedlo vyšší, než 50 cm, což je přinejmenším dostačující (obr. 22.).



Obrázek 22: Skirt z tenké látky z umělých vláken

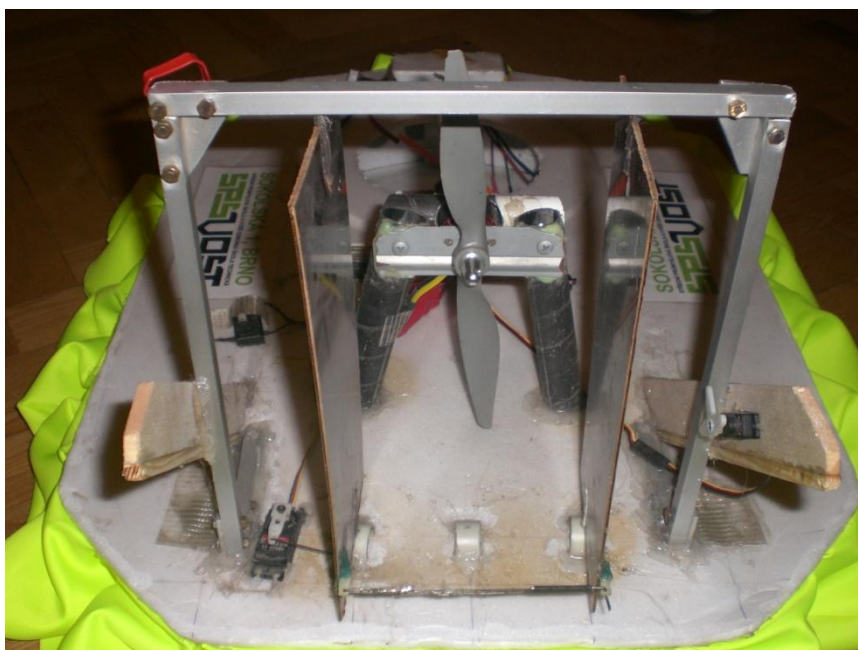
### 5.2.3 Pohon a řízení

Rám ovládacích ploch jsem také zkoušel zhotovit z různých materiálů, ale podle mých zjištění je lepší zde nešetřit váhu a udělat konstrukci robustní. Při převrácení vznášedla je totiž velmi namáhána a určitým způsobem i chrání točící se vrtuli od přímého kontaktu s podkladem. Zkoušel jsem materiály polystyren, novodurové vodovodní trubky a nakonec jsem spokojen s hliníkem. Na jednom z videí je verze s polystyrenovým rámem. Na obr. 23 je rám z plastových trubek.



Obrázek 23: Rám z vodovodních trubek

Nakonec je na obr. 24. rám hliníkový.



Obrázek 24: Rám z hliníkových profilů

Rám pro uchycení motoru jsem vyrobil ze staré zlomené florbalové hole, která je ve většině případů z laminátu a často také obsahuje uhlíkové vlákno. Díky tomu má nejlepší předpoklady být lehká a pevná, což je zde podmínkou. Jedna trubka vede až do přední části vznášedla, což zachycuje sílu, kterou motor vznášedlo pohání kupředu. Také složí jako místo pro snadné uchopení. Trubky jsou sešroubované a slepené, což jsem se snažil zachytit na obr. 25.





Obrázek 25: Uchycení motoru

### 5.3 Stavba těla vznášedla

Polystyrén jsem řezal na díly, které jsem slepoval tavným lepidlem. Pro názornost je postup dokumentovaný v příloženém videu. Na obr. 26. je výsledek zespodu.



Obrázek 26: Tělo vznášedla bez skirtu zespodu

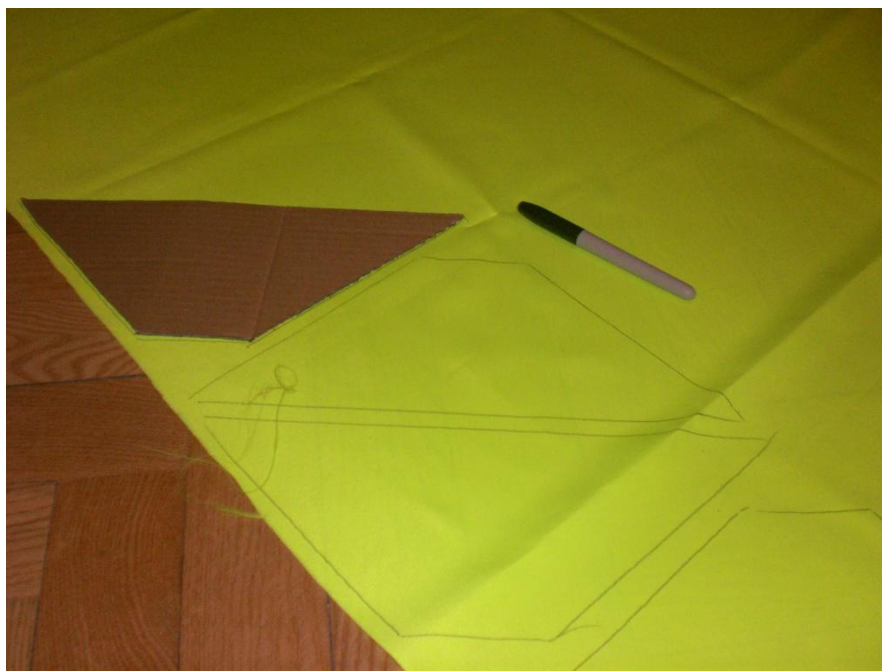
Díry jsem vyřezával nabroušenou hliníkovou trubkou. Jsou umístěny co nejvýš, aby se do vznášedla při vypnutí motoru nedostala voda.

## 6 Porovnání skirtů

Protože jsem nenašel nikoho, kdo by použil na RC vznášedlo skirt typu finger, chtěl jsem také vyzkoušet jak a v čem se liší od komorového (vakového) skirtu. V praxi se může stát že se objeví jiné problémy či výhody, se kterými jsem v teorii nepočítal. Na velkých vznášedlech se totiž používá spíše tento typ skirtu a má spoustu výhod, takže jsem předpokládal, že bude pro použití lepší.

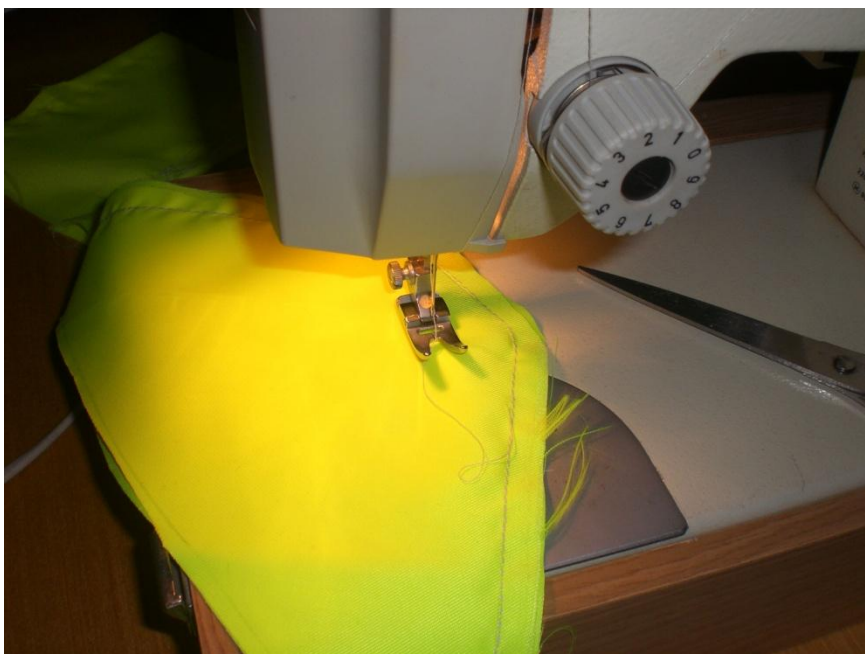
### 6.1 Stavba skirtu finger

Jednou z výhod tohoto skirtu je možnost absence jakéhokoli navrhování v 3D a že je možné půdorys vznášedla zaoblit. U vakového skirtu každý úhel na vznášedle znamenal šev navíc a pokud by úhly nebyly stejné, znamenalo by to i různé křivky švů. U finger skirtu stačí jedna šablona a výroba může začít. Každý prstík je totiž shodný. Do rozumné míry platí, že čím více, tím lépe. Já jsem jich ale z důvodu náročnosti na čas a na materiál, kterého se na tento typ spotřebuje nesrovnatelně více než u skirtu vakového, použil co nejméně. Na vznášedle jich je 23. Níže je obr. 27. s látkou, ze které jsem vystříhl jeden díl prstíku.



Obrázek 27: Stříhání látky na segmentový skirt

Na dalším obr. 28. je již ušitý jeden prstík.



Obrázek 28: Šití jednoho segmentu

Dále jsou na obr. 29. vyfotografovány všechny prstíky. Celé šití mi zabralo pár večerů.



Obrázek 29: Ušité segmenty

Již přilepené prstíky na tělo vznášedla jsou vyfotografovány na obr. 30.



Obrázek 30: Segmenty na vznášedle zespodu

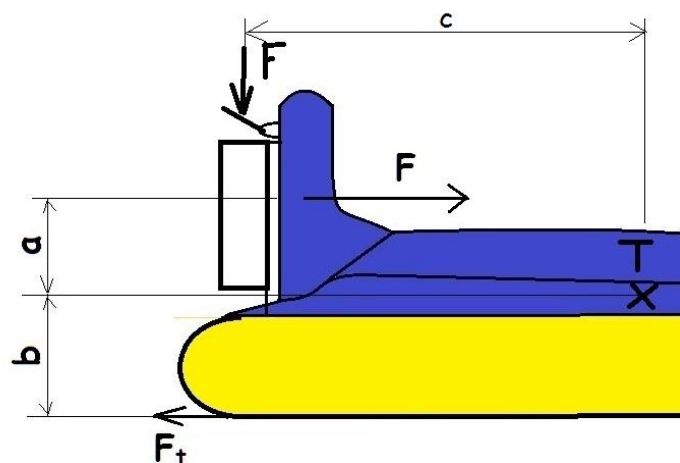
Výsledek je možné vidět na přiložených videích.

## 6.2 Zjištěné rozdíly

Jak je patrné na jednom z videí, skirt typu finger má velikou výhodu v schopnosti kopírovat nerovnosti i předměty. Byl jsem až překvapen, jak skirt sám ucpe prostor, pokud jeden prstík nadzvednu. Vznášedlo se i nadále vznáší bez jakýchkoli problémů. Dokonce i vyhloubení v podkladu dokáže kopírovat. Při větším počtu segmentů by dokonce bylo schopné, pohybovat se i při ztrátě dvou i více segmentů vedle sebe.

Po tak dobrém zjištění nastává i zklamání. Po malé chvíli narážím na veliký problém. Segmentový skirt se oproti vakovému přizpůsobuje povrchu tak dobře, že je tím ztracena většina stability. Při pohybu po koberci dokonce zvýšené tření způsobí, že tah motoru vznášedlo nakloní a to se nemůže pohybovat. Při umístění břemene i jen kousek nad těžiště se vznášedlo stává nestabilním natolik, že není schopno bezproblémového pohybu.

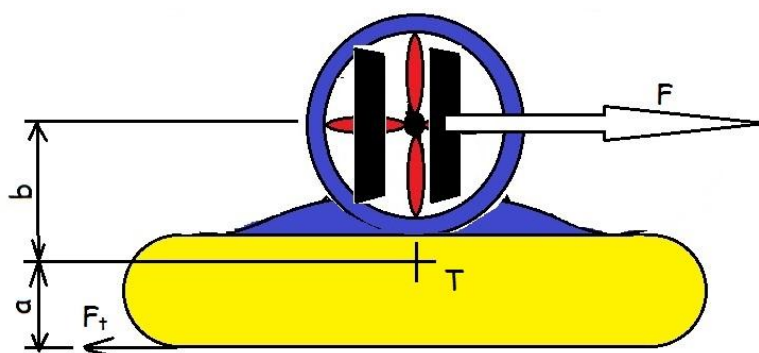




Obrázek 31: Síly působící na vznášedlo při pohybu vpřed

Obr. 31. znázorňuje sílu  $F$ , která na rameni a způsobuje moment, který má tendenci vznášedlo překlomit dopředu. Bohužel stejný efekt má i moment síly  $F_t$  na rameni  $b$ . To způsobí, že ve snaze se rozjet vznášedlo začne dřít o podklad. U skirtu vakového typu se toto dělo také, ale v mnohem menší míře.

Vznášedlo se také překlápí při zatáčení, což je znázorněno na obr. 32.



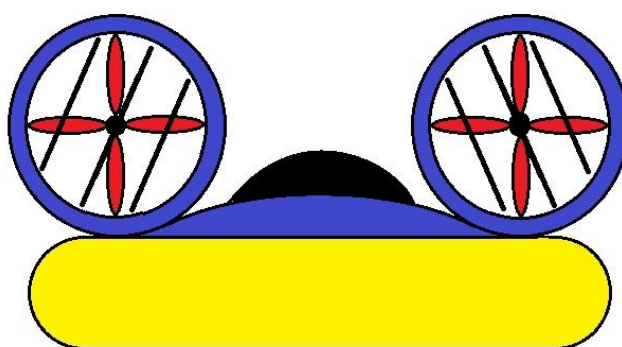
Obrázek 32: Síly působící na vznášedlo při zatáčení

Situace je podobná, jako v prvním případě. Síla  $F$  od řídicích ploch na rameni  $b$  vytváří moment, který má stejný směr jako moment síly  $F_t$  na rameni  $a$ . Oba tyto momenty se snaží vznášedlo překlomit ze zatáčky.

### 6.3 Řešení

Tyto problémy bylo velmi obtížné vyřešit a zcela se mi to nepodařilo. Jednou z možností problému z obr. 31. je vodorovná řídicí plocha která je na obrázku také znázorněna, kterou je možné manuálně ovládat tento náklon. To však lze pouze s přidaným plynem. Touto cestou jsem se také vydal. Další možností bylo vložit na vznášedlo závaží se

kterým bych motory pohyboval. Tak je tomu i v případě sportovních vznášedel, kdy se po vznášedle přemísťuje pilot. To by ale mělo za následek zvýšení hmotnosti a jak jsem již zmínil, vznášedlo je s břemenem velmi nestabilní, takže by mohl být výsledek ještě horší. Řízená plocha tento problém vyřešila. Bohužel jsem nevymyslel způsob, jak se vypořádat s problémem na obr. 32. Řešením by bylo udělat skirt nižší, nebo řešení ze vznášedel střední velikosti, kdy několikačlenná posádka sedící na svém místě se není schopna přemísťovat a vyvažovat tak každou zatáčku. Řešení těchto vznášedel je na obr. 33., kde je pohled na vznášedlo zezadu.



Obrázek 33: Způsob naklánění vznášedla při zatáčení

Řídící plochy vznášedla jsou naklopeny tak, že při levé zatáčce vzniká na levé vrtuli složka síly, která tlačí bok vznášedla k zemi. Na druhé straně je tomu opačně. Obávám se ale, že by tento způsob na jednovrtulovém vznášedlu nedostačoval. Kvůli těmto důvodům se používá také již zmiňovaný skirt s vrchní částí vakového typu a spodní typu segmentového. To je ale u malého modelu i malých sportovních vznášedel velmi pracné. Proto považuji vakový skirt pro toto použití za vhodnější.

## 7 Převoz břemene

Další zjištění, kterého jsem chtěl dosáhnout, bylo co vznášedlo uveze. Problémy segmentového skirtu jsem již popsal, takže se zaměřím na skirt vakový. Díky němu vznášedlo uveze na hladkém povrchu přibližně 2 kg zátěž. To považuji za úctyhodné, protože vznášedlo samo váží necelé 3 kg. Důležité ale je, aby zátěž byla přesně nad těžištěm a co nejnižší. Snažil jsem se toto pravidlo obejít s použitím již zmiňované vodorovné řídicí plochy ale manuálně to možné není. Nejen že řízená plocha je na to slabá, ale je to příliš obtížné i na zvládnutí řízení a plocha funguje pouze s přidaným plynem. Navíc je tlak pod vznášedlem rozložen rovnoměrně a každý posun těžiště mimo střed plochy vznášedlo nakloní. Na kraji pak vznášedlo unese jen několik stovek gramů, což ale svědčí o jeho dobré stabilitě. U skirtu segmentového vznášedlo překlopil rozdíl jen několika desítek gramů na kraji vznášedla. Polohu těžiště demonstruji na přiloženém videu, zavěšením vznášedla na provaz. Tyto problémy by mohlo vyřešit rozdělení prostoru pod vznášedlem na čtyři nebo více částí. Do každé by byl vzduch vháněn zvlášť. Při posunutí těžiště by se vznášedlo nenaklonilo. Pouze by vzrostl tlak v určité z částí. Tato varianta se mi zdá sice nejjednodušší, ale přesto pokud není problém umístit břemeno do těžiště zdá se mi toto řešení zbytečně složité. Navíc by více zdrojů znamenalo další nárůst ve spotřebě a hmotnosti.

## 8 Závěr

Touto prací jsem si osvojil způsoby různých řešení a principy vznášedel, které i na dnešní dobu nejsou všeobecně známé. Z tohoto důvodu byla pro mne stavba tohoto modelu předmětem mnoha zjištění a přínosem pro další konstruktéry, kteří se již nemusejí rozhodovat jaký skirt použít nebo si muset vlastnosti ověřovat sami. V práci jsem co nejvíce objektivně nastínil danou problematiku. Bohužel objevení nových možností a řešení s sebou přináší další problémy a ne všechny se mi podařilo vyřešit. Je to ale dáno tím, že se jedná o problematiku tak složitou a plnou různých možností, že nelze pokrýt všechny detaily.



# Seznam použitých značek a symbolů

RC Radio controlled

LP Long play

# Seznam použitých zdrojů

- [1] Vznášedlo. vznasedlo.cz [online]. [cit. 2004-09-15]. Dostupné z: [www.vznasedlo.cz](http://www.vznasedlo.cz)
- [2] rc hovercraft. In: Youtube [online]. Zveřejněno 3. 01. 2009 Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=Xf7Rgiis73E>
- [3] Jan Bareš. Jaba. Jaba.cz [online]. 2005-2013 [cit. 2004-02-12]. Dostupné z: <http://www.jaba.cz/data/Vznasedlo/vznasedlo.htm>

Pozn.: Pro inspiraci je použito velkého množství videí o vznášedlech dostupných z: [www.youtube.com](http://www.youtube.com), která však neobsahují informace o zde zmíněných postupech a řešeních.