

## ... a přece to letí

Robert Seifert, robert.seifert@ujep.cz

### *Shrnutí*

Článek je hrubým přepisem obsahu semináře konaného pro studenty LŠMF a nabídne námět na několik jednoduchých aktivit s létajícími aparáty.

### *Co je to let?*

Staré modelářské pořekadlo tvrdí „I kámen letí, dokud nespadne. A nejlepší ponorka je kovadlina na provázku.“ Zkusme na chvíli odhlédnout od nadsázky, kterou pořekadlo zcela jistě obsahuje, a rozebrat si tvrzení o letu. Co je to let?

Při hledání charakteristiky letu je vhodné se žáky vyjít od příkladů, resp. rozdělení předmětů na létající/nelétající. Vymýšlejme různé objekty a nechme žáky doplňovat objekty do tabulky. Na konci získáme např. takovýto výsledek.

letí	neletí
pták	auto (ani při skoku)
letadlo	klokan
vrtulník	hozený kámen
frisbee	list
motýl	
včela	
horkovzdušný	
balón	
vzducholod'	
bublina z	
bublifuku	

Cílem cvičení není dotřídit tabulku podle vzoru, ale již v průběhu zatřizování vést studenty k formulaci charakteristických známek letu, na kterých se shodnou a které si

vzájemně vyargumentují. (Proč neříkáme, že klokan letí? Je tedy skok let? A co vavroverka? Ta přeci taky ze stromu skočí, ne?)

Výše uvedená tabulka je jen jedna z mnoha příkladů, jakých odpovědí se lze dočkat. Během diskuse (v průběhu i po zařazení) se ale většinou dojde k tomu, že let je něco, kde převažuje vodorovná složka pohybu, těleso se v průběhu pohybu (letu) nedotýká země a stejně dobře může klesat i stoupat.

Je vhodné si vytvořenou charakteristiku zapsat vedle tabulky a posléze provést zpětnou kontrolu prvků, případně hledat další protipříklady.

Pozorní čtenáři jistě namítnou, že frisbee a bublina naši „definici“ nesplňují, dalo by se polemizovat i o klokanovi, létající rybě, maglevu, vznášedle a jistě i mnoha dalších předmětech. To budiž ukázkou obtíží při intuitivním zavádění definic (a proto budeme raději říkat „charakteristika“ letu).

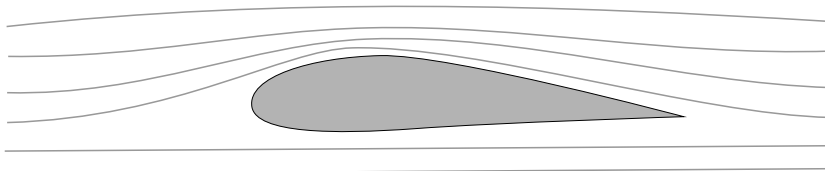
## Vztlak

Téměř všechny předměty z levé části tabulky mají možnost kontrolovat výšku letu nad povrchem. To je podmíněno existencí nějaké síly působící směrem vzhůru, proti gravitaci. Létající těleso tento *vztlak* musí využívat! (zde se rodí náznak skutečné jednoznačné definice letu – aktivní let je podmíněn existencí vztlaku a tahu)

Vztlaková síla je buď vytvořená staticky (např. Archimedova vztlaková síla, nějaký druh magie ve vilím prachu), nebo pohybem tělesa vůči okolnímu vzduchu (dynamicky). Dle toho se pak létající tělesa dělí na aerostaty (letouny „lehčí než vzduch“) a letouny těžší než vzduch, jejichž nejtypičtější zástupce řadíme letadla s pevným křídlem a vrtulníky.

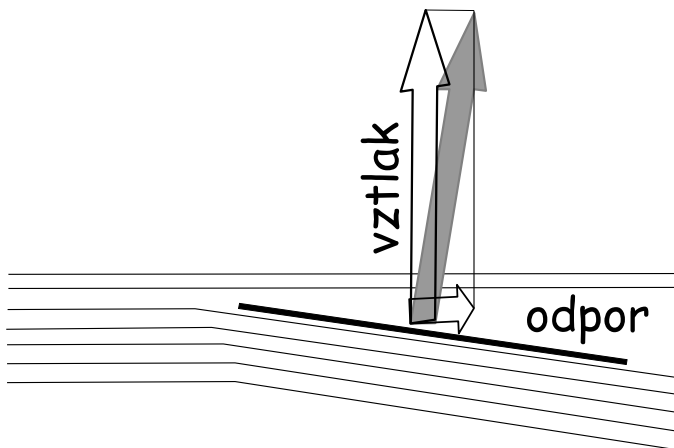
## *Let, akce, reakce*

Pravděpodobně všichni si vybaví následující obrázek:



Je na něm vidět profil křídla a proudnice. Jejich zhuštění nad křídlem indukují vyšší rychlost a tím pádem snížení tlaku a vznik vztlaku. Správný šňoura si s tímto obrázkem ovšem nevystačí. Těžko se pomocí něj například vysvětlí akrobatický prvek „zrcadlový let“, kdy dvě letadla letí zrcadlově (jedno hlavou dolů). To by totiž křídlo muselo vyvíjet sílu směrem dolů způsobit okamžitý pád letadla. Taktéž lze obtížně vysvětlit proč letí obyčejná papírová vlašťovka, která rozhodně profilované křídlo nemá. (Hezký článek o jedné speciální vlašťovce včetně její vystřihovánky naleznete např. zde: <https://www.matfyz.cz/clanky/942-pan-bernoulli-promine>).

Vztlak lze vytvořit i podstatně jednodušším způsobem. Mějme křídlo naklonené mírně vzhůru (úhel natočení křídel vůči směru pohybu se nazývá *úhel náběhu*). Vzduch který do něj naráží zepředu je stáčen směrem dolů (akce), změna hybnosti vzduchu způsobí vznik síly (reakce) tlačící na plochu křídla. Tu lze rozložit na dvě složky – vztlak a odpor (viz obr.).



Tento efekt pocítí každý, kdo při jízdě autem vystrčí ruku s plochou dlaní z okénka a mírně ji natočí směrem vzhůru.



*Ilustrace 1: L-13 Blaník v zrcadlovém letu (foto: archiv F. Bartoně a A. Kubovce, [www.flying-revue.cz](http://www.flying-revue.cz))*

## ***Papírový vrtulníček***

Nejen pro demonstraci stáčení proudu vzduchu se hodí jednoduchá hračka, jejíž kořeny sahají pravděpodobně až do středověkého Japonska.. K jeho stavbě potřebujeme jen kladívkovou čtvrtku, nůžky, špejle, lepidlo na papír (Herkules nebo podobné).

### **Postup:**

- Rozpulte špejle, z kratší strany čtvrtky odstříhnete dva 2,5 cm široké proužky.
- Jeden proužek stočte do spirály (Nejprve několikrát přetáhněte proužek přes hranu stolu, samovolně se zkroutí. Toto zkroutení dále podpořte prsty).
- Takto zkroutený papír je třeba nalepit na konec špejle. Nejprve papír naviňte na konec špejle nasucho – bez lepidla. Poté papírový proužek rozviňte, potřete lepidlem a znovu naviňte na špejle.
- Na druhém proužku si vyznačte střed, do kterého vlepíte osu. Na střed postavte špejle s navinutým papírovým válečkem a obkreslete si jeho obvod
- Vnitřek kruhu prořízněte křížem ostrým nožem, rozehněte vzniklé chlopně nahoru.

- papírový váleček na špejli vlepte do otvoru
- Listy rotoru vrtulníčku je nutno vyhnout tak, aby měly mírný úhel náběhu. Způsob vyhnutí naznačuje obrázek.
- Hotový vrtulníček si umístíme mezi dlaně (vrtulí nahoru) a prudkým pohybem dlaní (pravá vpřed, levá vzad) jej roztočíme a pustíme. Vrtulníček by měl vzletět.
- Let vrtulníčku lze ovlivnit mj. i sestřihnutím jeho rotoru na menší průměr. Experimentujte!

Sestavený vrtulníček nabízí několik možností využití: - Při startu si nelze povšimnout „větru“, který nám ofoukne dlaně. To je vzduch, jehož pohyb byl usměněn pohyblivými se lopatkami rotoru, reakce na sílu, která uvedla vzduch do pohybu je pak vztlak - „nosná síla“ vrtulníku.

Takto vyrobený vrtulníček nelétá příliš dobře – velmi brzy se zastaví. To je způsobeno příliš velkou plochou listů a jejich velkým odporem (toho si vnímavější děti povšimnou). Sestřihnutím rotoru proto lze jeho let vylepšit. Nechte žáky experimentovat s různým průměrem. Je jistě zajímavé zjištění, že s příliš velkou vrtulí vrtulníček nelétá, ale s příliš malou také ne.

Je-li dostatek času, lze vrtulníčky využít ke hrám již nesouvisejících s fyzikou – let na cíl, let do dálky, let do výšky atp.

## ***Přízemní efekt***

Již v počátcích aviatiky si piloti povšimnuli, že během přistávacího manévru se při přiblížení k zemi začalo letadlo „vzpouzet“ přistání a „odmítko“ dále klesat – jako by těsně nad zemí byl neviditelný polštář, po kterém se pohybovalo.

Tento jev byl sice teoreticky rozpracován již na počátku 20. století, trvalo však dalších čtyřicet let, než se začaly rýsovat možnosti jeho praktického využití. Prakticky souběžně se v 60. letech 20. století přízemním efektem zabývali (mimo jiných) Alexander Lippisch v USA a Nikolaj Alexejev v SSSR. Lippisch a jeho tým za nejvýhodnější považovali dvojité delta křídlo s negativním vzepětím, Alexejev se se svým týmem rozhodl pro krátká tlustá křídla s velkými svislými „hřebeny“ usměrňujícími proudění.

Zatímco Lippischova práce nebyla v tehdejší USA nikdy prakticky využita, Alexejevova konstrukční kancelář vytvořila omezenou sérii nového druhu dopravních prostředků – ekranoplánů. Ty měly sloužit pro rychlou přepravu vojska a nákladů přes

relativně klidnou hladinu vnitrozemských moří. Podivný vzhled ekranoplánu připravil analytikům snímků ze špionážních družic perné chvíle, a umístění experimentální základny prvním ekranoplánům na Západě vyneslo název The Caspian Sea Monster – Kaspický přízrak.



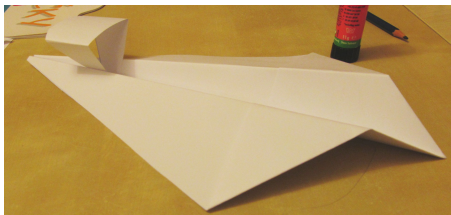
104. Artist's Concept of Soviet Wing-in-Ground Effect Vehicle (SVP) 7/9/88

*Ilustrace 2: Ekranoplán v letu (zdroj: Wikimedia commons)*

Základní příčinou přízemního efektu je pravděpodobně zhuštění vzduchu pod křídly letounu. Vzduch zpod letounu – díky vhodné konstrukci křidel – nemá kam uniknout a tak pod letounem vytvoří jakýsi „polštář“. Úplné vyvětlení přízemního efektu je pravděpodobně nad rámec tohoto článku (a zcela jistě nad autorovy síly). Vážné zájemce proto odkážu na původní článku vydaný NACA, který považuji za dobrý začátek pro samostatný výzkum.

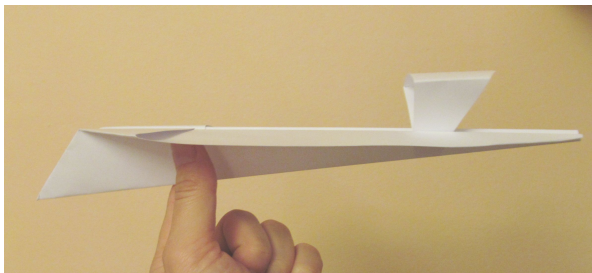
## Papírový kluzák - ekranoplán

Papírový ekranoplán umožní žákům jednoduchým způsobem vyzkoušet „klouzání“ nad povrchem s využitím přízemního efektu. (Autorem původního návodu je osoba vystupující na serveru Youtube.com pod názvem iSturz.). Ke stavbě je třeba list tužšího kancelářského papíru formátu A4 ( $120\text{g/m}^2$ ), jedno- a dvoukorunové mince, kousek lepicí pásky nebo lepidlo na papír



**Stavba:** Kluzák složíme podle obrázkového návodu, „ocas“, který vlepíme dozadu, slouží pro stabilizaci pohybu. Při skládání dbáme na to, aby náběžná hrana křídla byla dostatečně vyhnutá vzhůru a vytvářela tak „kapsu“ zachytávající vzduch a vtlačující ho pod kluzák.

Pro správnou funkci je nutné vyvážení. Do přední kluzáku vlepíme korunovou /nebo dvojkorunovou/ minci tak, aby kluzák podepřený přibližně ve třetině hloubky křídla (viz obr) byl v rovnováze a směřoval špičkou mírně dolů. Přesnou polohu zjistíme při prvních letech.



**Létání:** Nejlépe se létá v místě s rovnou, hladkou podlahou (školní chodby, tělocvičny atp). Kluzák položíme na podlahu, zvrchu uchopíme za špičku a prudkým pohybem vpřed urychlíme asi jako kdbychom posílali angličáky. Je-li správně sestavený a vyvážený, bude klouzat několik mm nad povrchem do vzdálenosti několika metrů. Pokud drhne špičkou o zem, je potřeba přesunout zátěž trochu dozadu, pokud se naopak „vzpíná“ - zvedne špičku vzhůru, ztratí rychlost a spadne dolů – je potřeba přesunout zátěž trochu vpřed.

Při experimentování s kluzákem můžeme například ověřit jeho nosnost. Kluzák se dokáže pohybovat nad povrchem i při značném zatížení (i několik dvojkorun). Klíčové je ovšem zatížit kluzák tak, aby stále zůstal vyvážený.

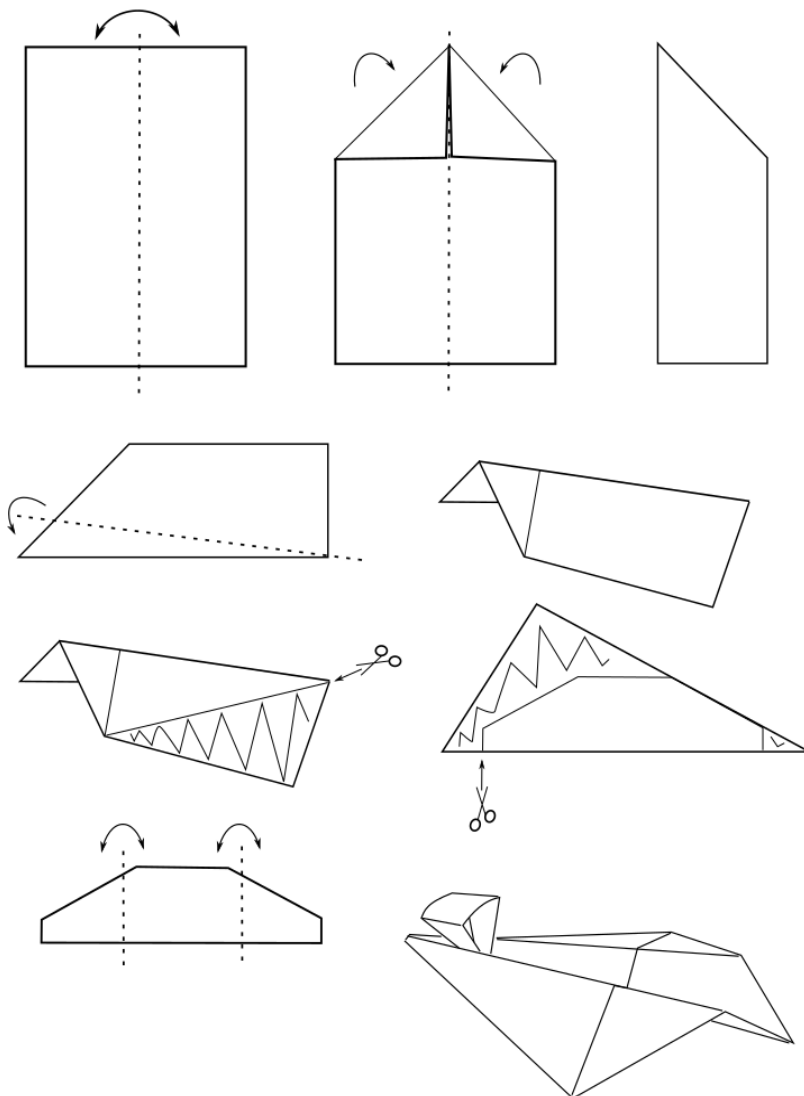
### ***Použité zdroje, další materiály***

- Obrázek zrcadlového letu použít ze serveru <https://www.flying-revue.cz/blaniky-v-zrcadle>, další příklady např. na <https://staging.redbull.com/cz-cs/flying-bulls-akrobacie-zrcadlovky-let-dan-vojtech>.
- Obrázek ekranoplánu v letu použít z [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:An\\_artist\\_%27s\\_concept\\_of\\_a\\_Soviet\\_wing-in-ground\\_effect\\_vehicle.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:An_artist_%27s_concept_of_a_Soviet_wing-in-ground_effect_vehicle.jpg)
- Další detailní obrázky skutečného stroje naleznete např. na <http://www.atchuup.com/incredible-photos-of-massive-lun-class-ekranoplan/>, nebo na <https://imgur.com/gallery/Qj1tm>
- Detailní technická zpráva NACA o přízemním efektu je dostupná zde: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1935/naca-tm-771.pdf>
- Videonávod na stavbu papírového kluzáku od původního autora: <https://www.youtube.com/watch?v=JcUMO6xken8> (How to make a VERY simple ground effect vehicle (WIG) paper-plane style, iSturz)



# Papírový kluzák (ekranoplán, WIG)

postup skládání

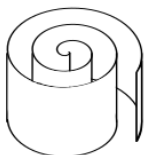


## Papírový vrtulníček

(kromě čtvrtky je potřeba ještě špejle (stačí polovina))



vystřižený proužek několikrát přetáhněte o hranu stolu, vytvoří spirálku



spirálku pevně navíňte (a přilepte) na horní konec špejle,

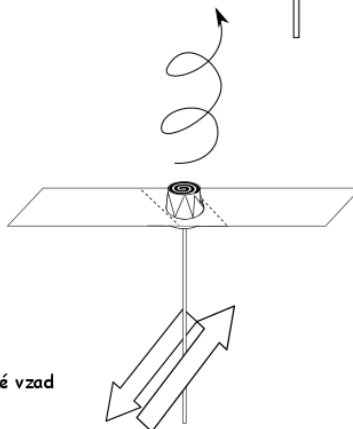
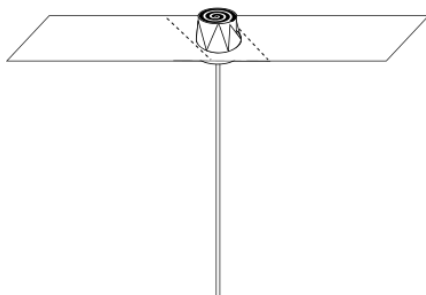
vytvoří váleček - paličku pro přilepení vrtule



vrtulový list vystříhnete, prořízněte naznačené čáry uprostřed a vyhněte vzniklé trojúhelníčky nahoru



nalepte na paličku, a podle šikmých čar vyhněte listy mírně nahoru



Uchopte vrtulníček mezi dlaně, prudkým pohybem pravé dlaně vpřed a levé vzad se vrtulníček roztočí a vzlétne