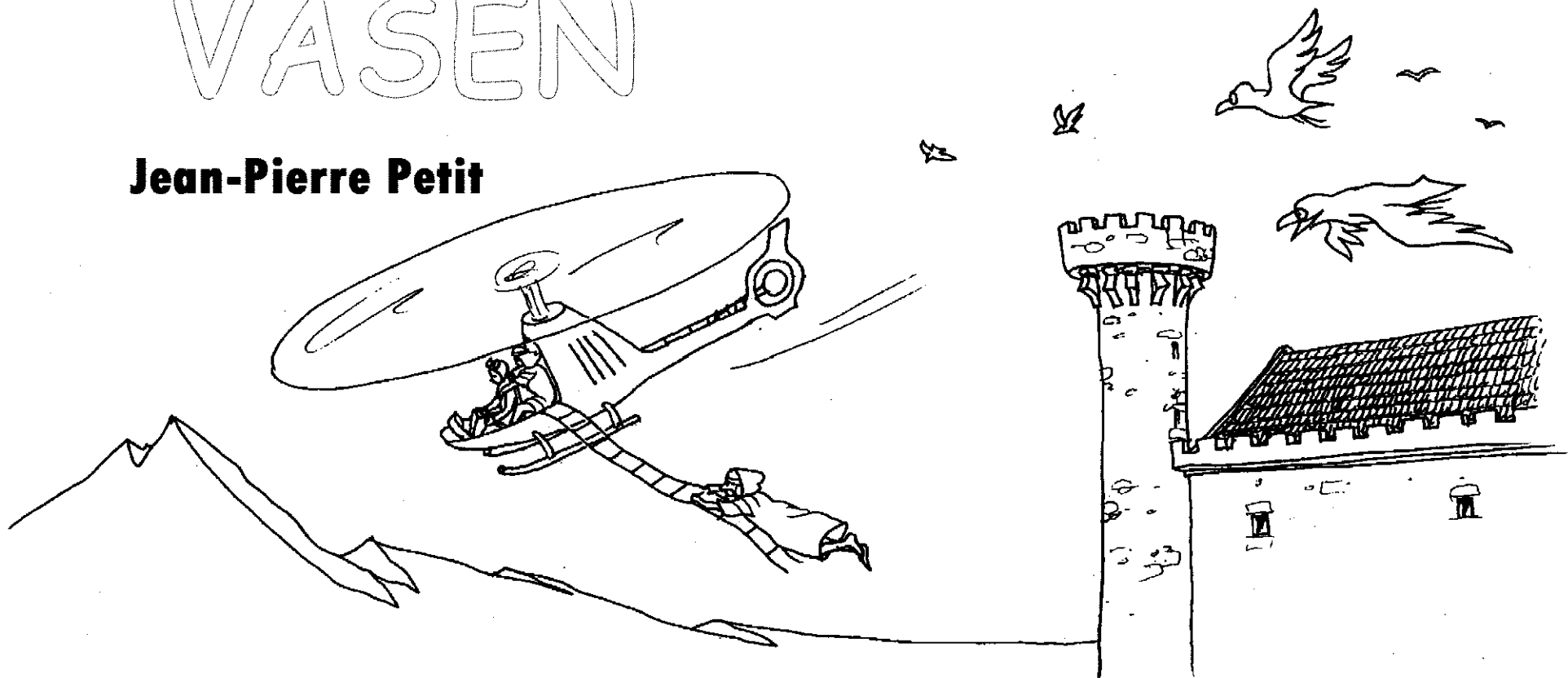


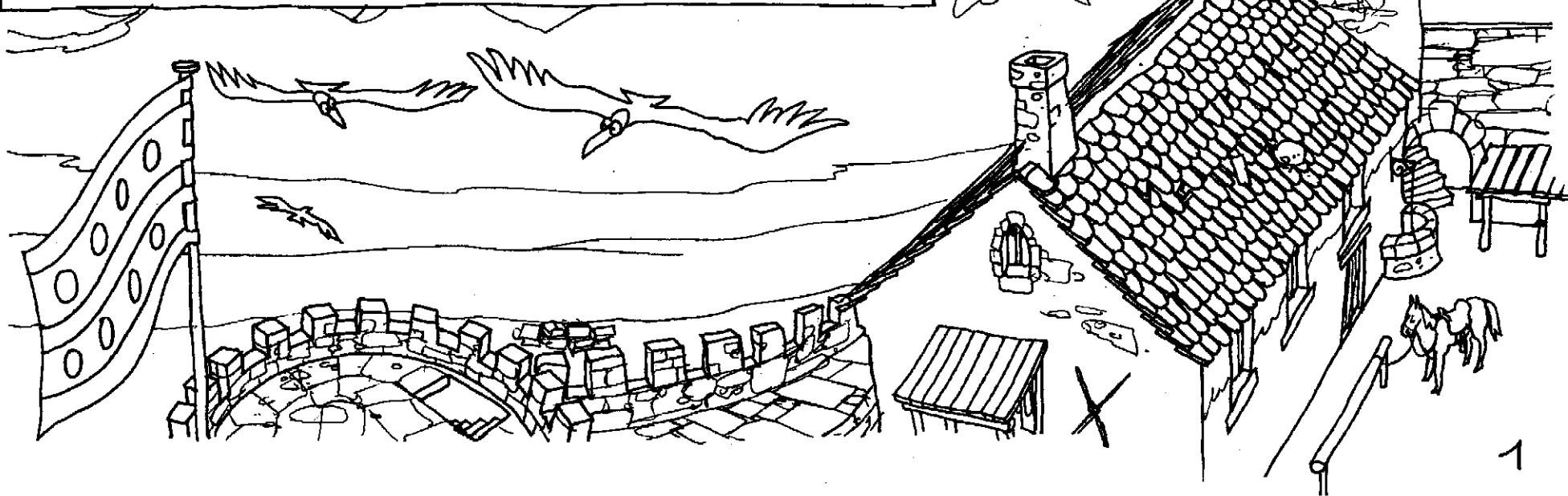
VERTIKÁLNÍ VÁŠEŇ

Jean-Pierre Petit



<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

Byl jednou jeden hrad ve Vestfálsku, který patřil baronu von Thunder-ten-Throckhovi. Žil tu se svou ženou a dcerou Kunegondou. Na zámku žil ještě jeden mladík. Jmenoval se Candide. Byl to syn jedné příbuzné pana barona a asi osmdesáti lovčích, zdá se. Na zámku žil také jeden filosof, mistr Pangloss, velký ctitel Leibnizových spisů. Leibniz obdivuhodně dokazoval, že není následku bez příčiny. V tom nejlepším z možných světů byl hrad monseigneuru barona tím nejkrásnějším ze všech hradů a paní baronka tou nejlepší ze všech možných baronek.



Jednoho dne mladá Kunegonda, již bylo 17 let, spatřila nedaleko hradu v lese pana profesora Panglosse, jak dává hodiny experimentální fyziky pokojské paní baronky. Jelikož měla velké vlohy pro vědu, sledovala pozorně opakované pokusy, jichž byla svědkem (*).

Jasně viděla doktorovy dostatečné rozumové schopnosti, příčiny a následky, a vracela se domů zcela pohnuta, pohroužena do svých myšlenek a s velkou touhou být poučena (*).



Když se vrátila na zámek, potkala Candida. Zčervenala. Candide zčervenal také; řekla mu přerývaným hlasem dobrý den a Candide začal cosi povídat, aniž by věděl, co říká (*).

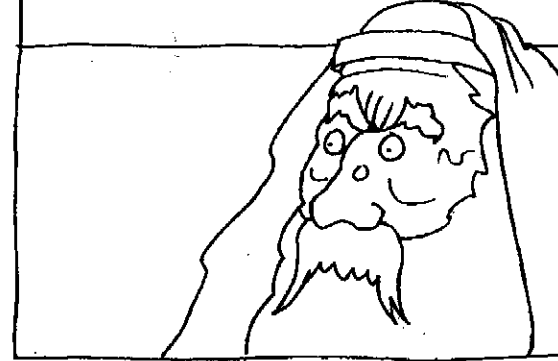
(*) Parafraze Voltairova textu, úryvek z jeho díla "Candide" (1694-1778).



Kunegonda upustila kapesník. Candide se sklonil, aby jej zvedl. Ona udělala to samé. Jejich ruce se setkaly a jejich kolena se chvěla (*).



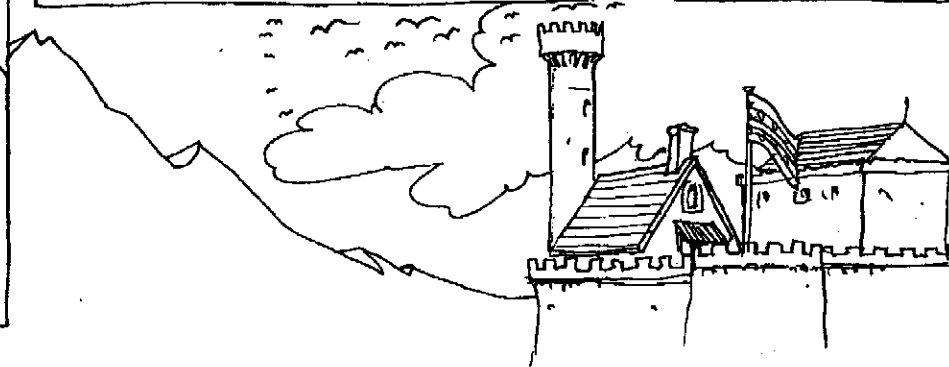
Jejich rty se políbily a ruce se zatoulaly. Pan baron, který tudy zrovna procházel, tuto scénu uviděl i s jejími příčinami a důsledky (*).



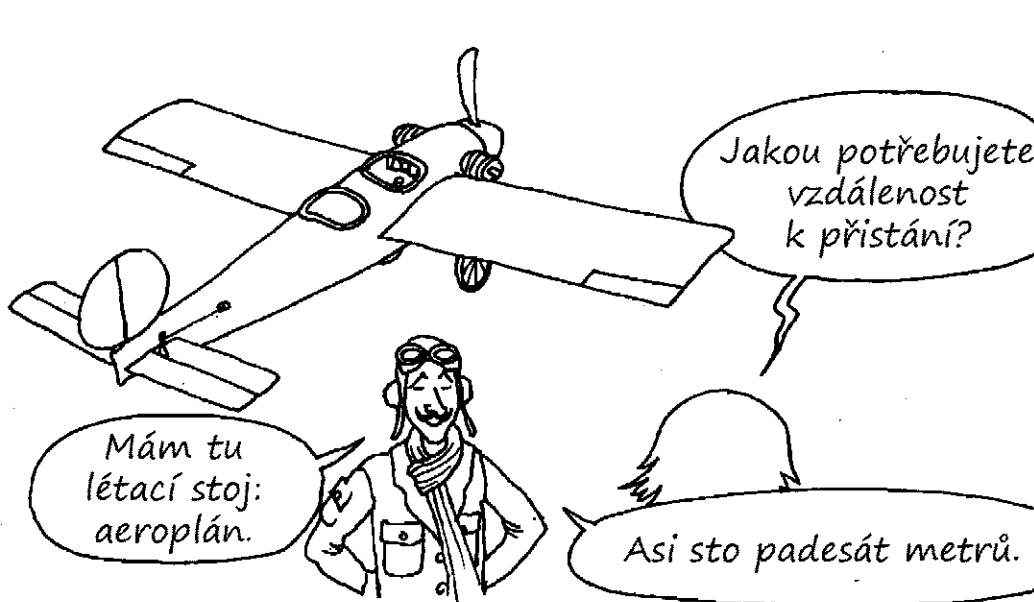
Pan baron Candida chytil a zezadu ho nakopl.



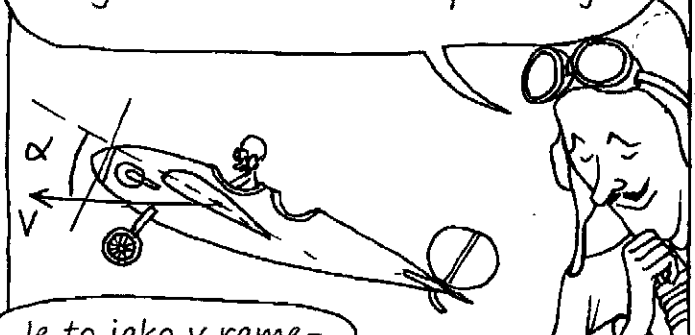
Paní baronka Kunegondě pohrozila a zavřela ji úplně nahoru do pokoje ve strážní věži hradu.



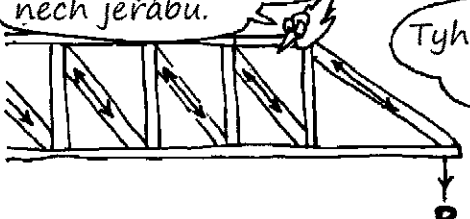
(*). Parafráze Voltairova textu z románu "Candide" (1694-1778).



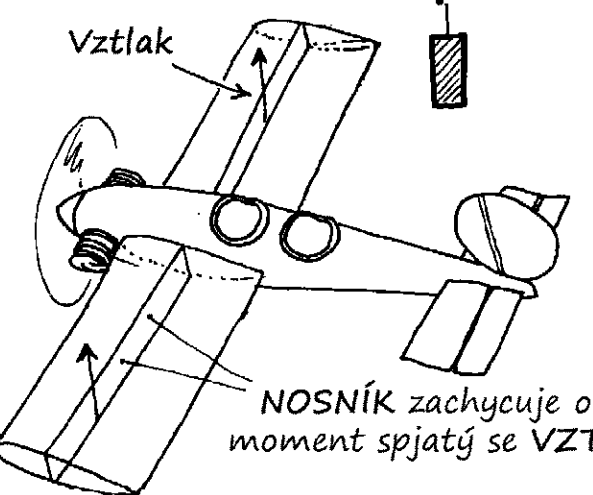
Budu muset zmenšit délku přistání. Přiblížím se menší rychlostí. **VZTLAK** křídla je přímo úměrný **ÚHLU NÁBĚHU** α . Když letadlo zvednu, měl bych letět mnohem pomaleji.



Je to jako v rame-
nech jeřábu.

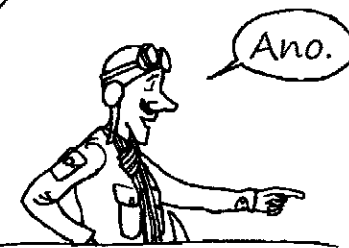


Tyhle tyče provádějí **TAH**.

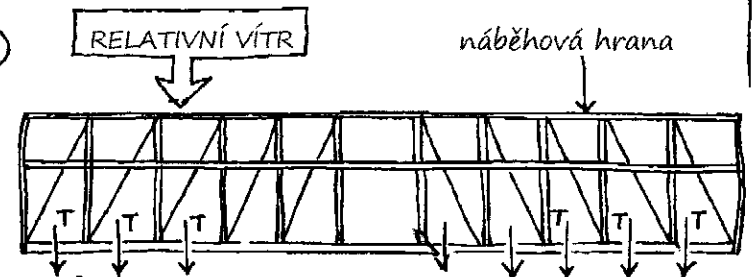


NOSNÍK zachycuje ohybový moment spjatý se **VZTLAKEM**.

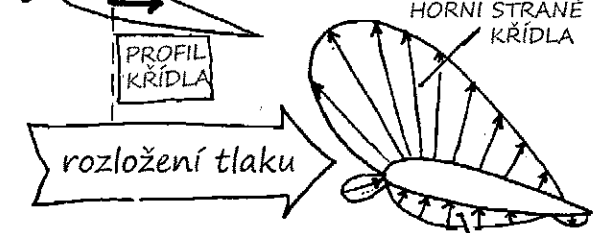
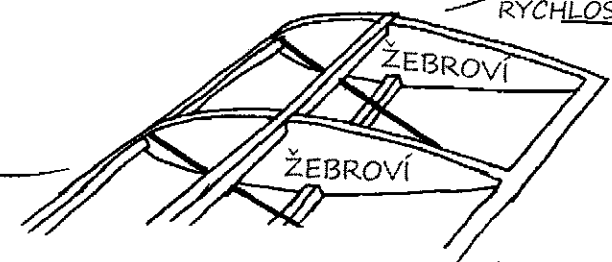
Díky tomuto křídlu se tedy udržíte ve vzduchu.



Ano.

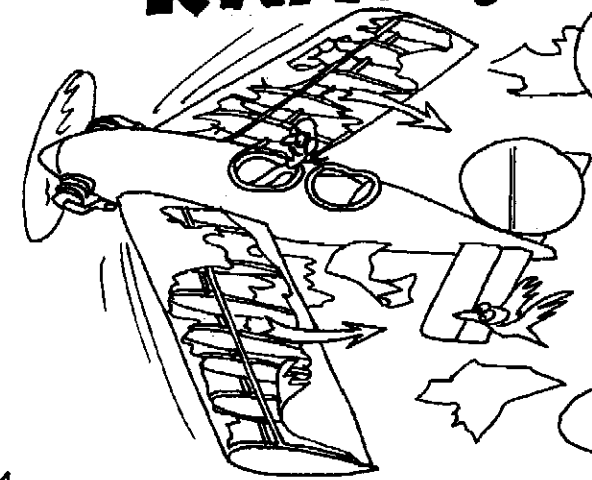


VZTLAK
RYCHLOST
AERODYNAMICKÁ SÍLA
ODPOR



rozložení tlaku

KRAK!

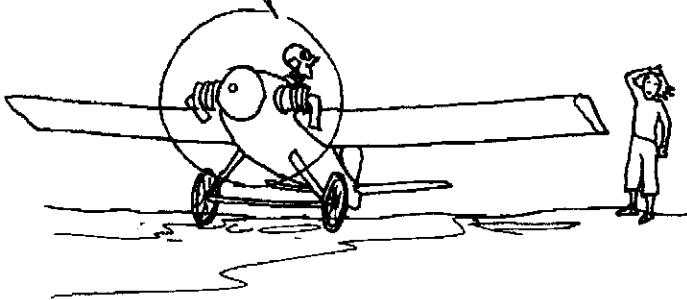


Pánové, bez těchto cenných výztuží by se křídla rozpadla.

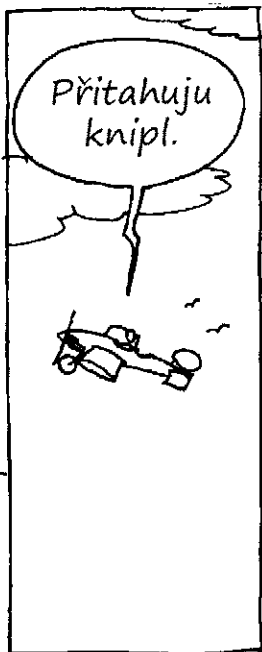
Moudré opatření.



Fajn, pojd'me zkusit snížit rychlost zvednutím stroje.



Přitahuju knipl.



KRAAAK!

Najednou se křídla zahnou nahoru a začnou se rozpadat.



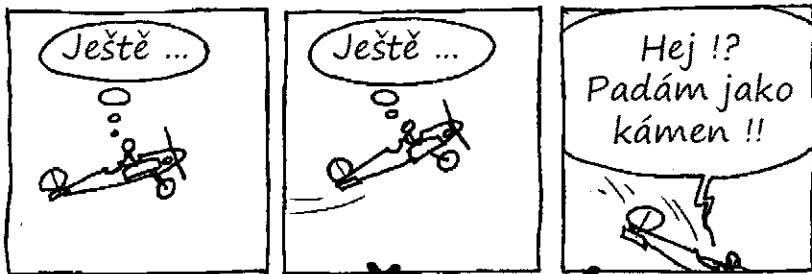
Tak a je to spravené. Stačí přidat druhou řadu výztuže, která křídům zabrání ohnout se nahoru.



Stroj je teď správně zpevněn. Budu ho postupně zvedat.

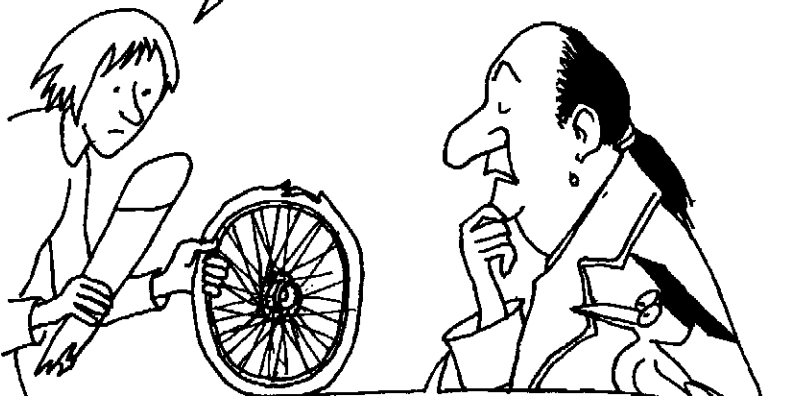


Bude třeba, aby se to zvedlo nebo aspoň řeklo proč.



ODTRŽENÍ PROUDĚNÍ

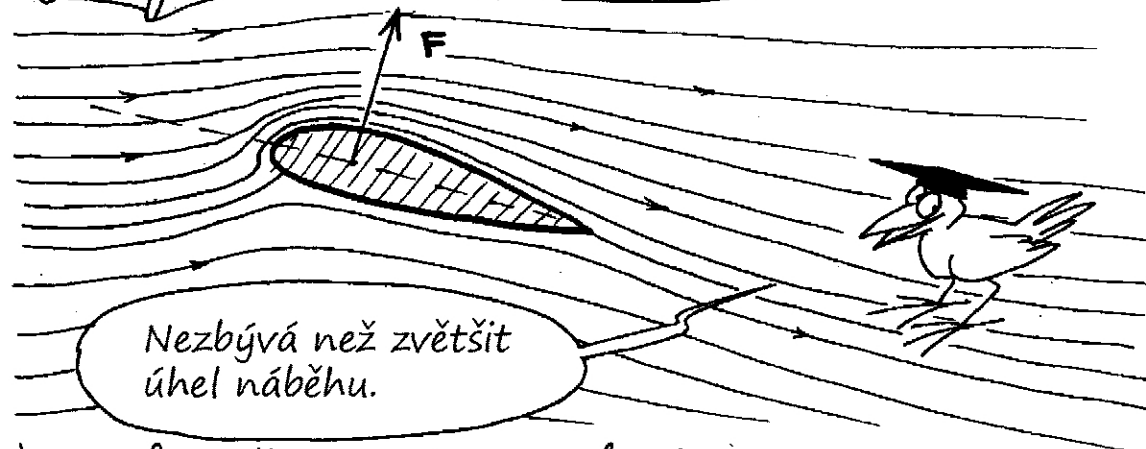
S tímhle strojem se mi Kunegondu vysvobodit nepodaří. A upřímně se ptám, jestli má tahle věc vůbec nějakou budoucnost.



Jelikož není následku bez příčiny, musíme najít dostačující vysvětlení, proč došlo k této prudké ztrátě vztlaku.



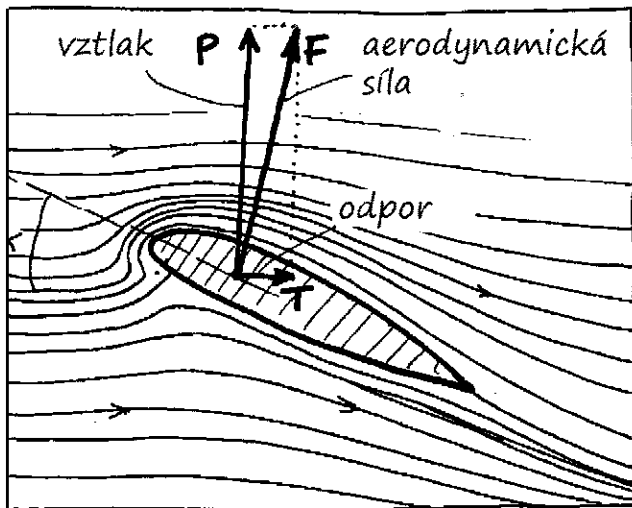
Ve Fukoodsavači o tomto jevu není žádná zmínka (*). Říká se tu akorát, že vztlak se vytvoří, když pěkně pravidelně obtékání vzduchu posílá proud spodem.



Nezbývá než zvětšit úhel náběhu.

(*)

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Jak se tak dívám na schéma obtékání vzduchu, které odpovídá velkému úhlu náběhu, něco mě napadá.

Co?



Když si znázorníme výslednici aerodynamických sil F , která působí ve čtvrtině délky profilu křídla, objevíme složku směřující k ZADNÍ ČÁSTI profilu křídla.

A to je to, co způsobilo ohnutí křídel aeroplánu nahoru, jenž patří tomu dobrému muži.

Mezitím psala Kunegonda
Candidovi dopis za dopisem.

Ale její slova byla
tak naplněna žářem,
že psaníčka shořela
dříve, než dolétla
na zem.

Ty jo!

Balón? To nebude fungovat.
S tím bych to jistě nevyhrál.

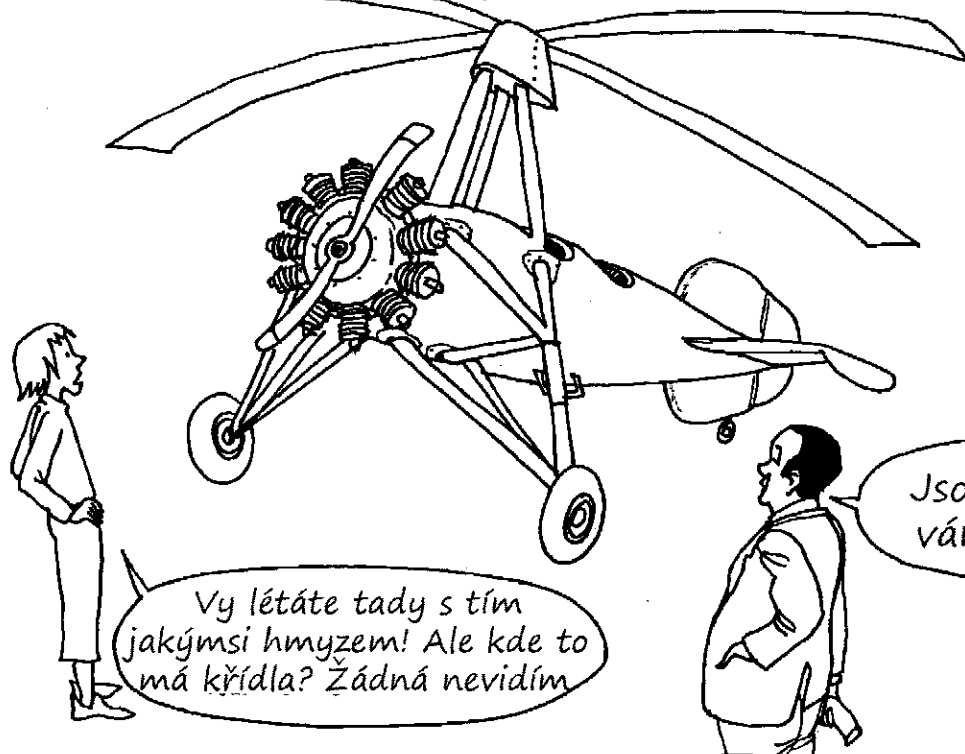
Zdá se, že to
nemá řešení.

Jmenuji se Juan de la Cierva, mohl
byste mi, prosím, ukázat toalety,
které bych mohl použít?

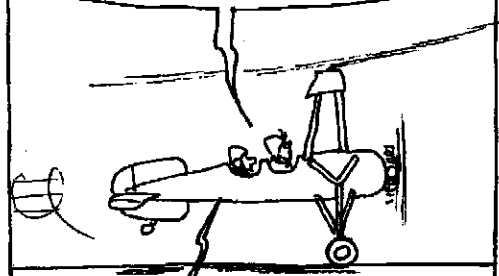
Señor!

Můj ty světe! Co je
to za mašinu?

VÍRNÍK

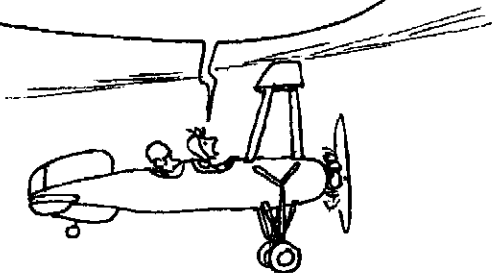


Ale jděte, tenhle rotor se otáčí sám, teď, proč.



autorotaciòn

A už letíme. Ale jakým zázrakem?



Rychle na hrad prosím vás.

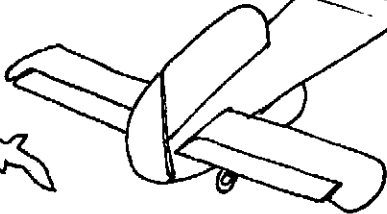


Má drahá Kunegonda musí být tam dole.



Mohl byste přistát na ochozu?

Vírník dokáže přistát na velmi krátké dráze, ale tenhle ochoz je vážně moc malý.



Ach, mistr Pangloss. Letěl jsem nad hradem a věží, kde je vězněná Kunegonda, na palubě fantastického létacího stroje pana de la Ciervy.

Ach jo, to je neštěstí! Odnáší s sebou všechna svá tajemství. Co je to za tajemnou sílu, která otáčí rotorem?

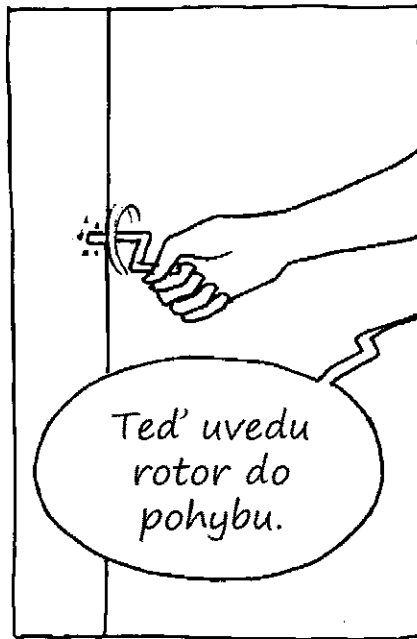
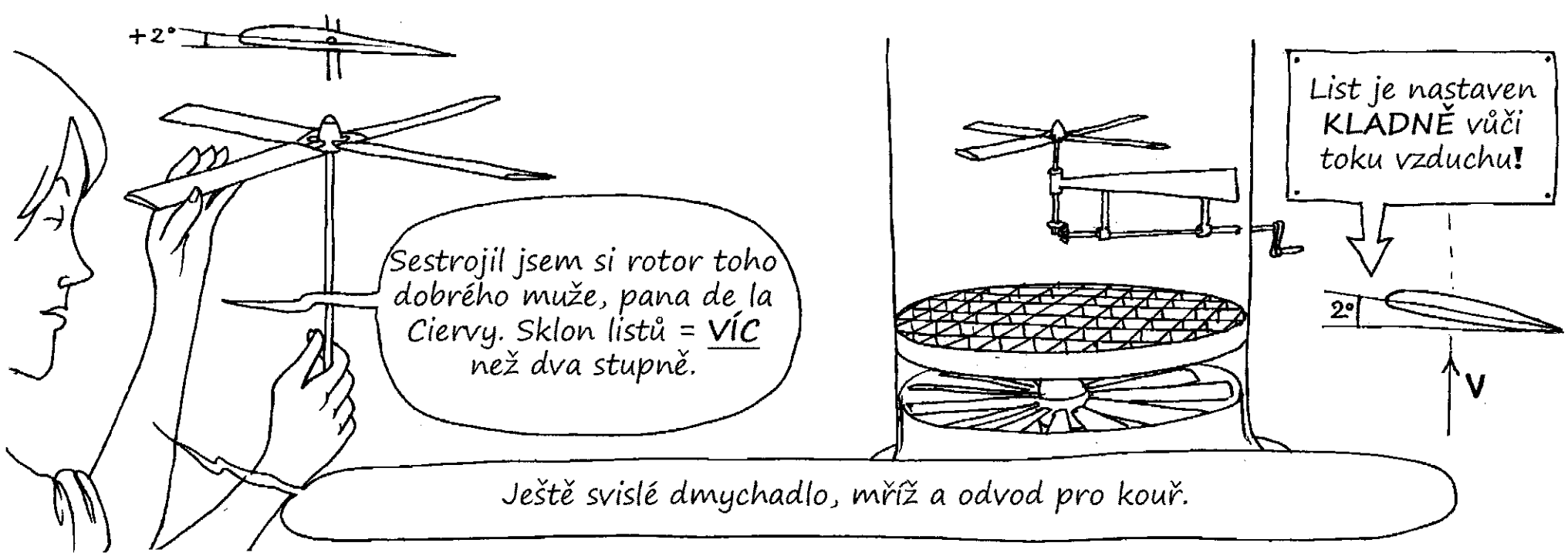
A vysvětlení je přeci jednoduché: rotor je udělaný pro to, aby se otáčel. Je tedy obdařen otáčivým účinkem a točí se; žádný následek není bez příčiny.

To je on, kdo tamhle v dálce odlétá?

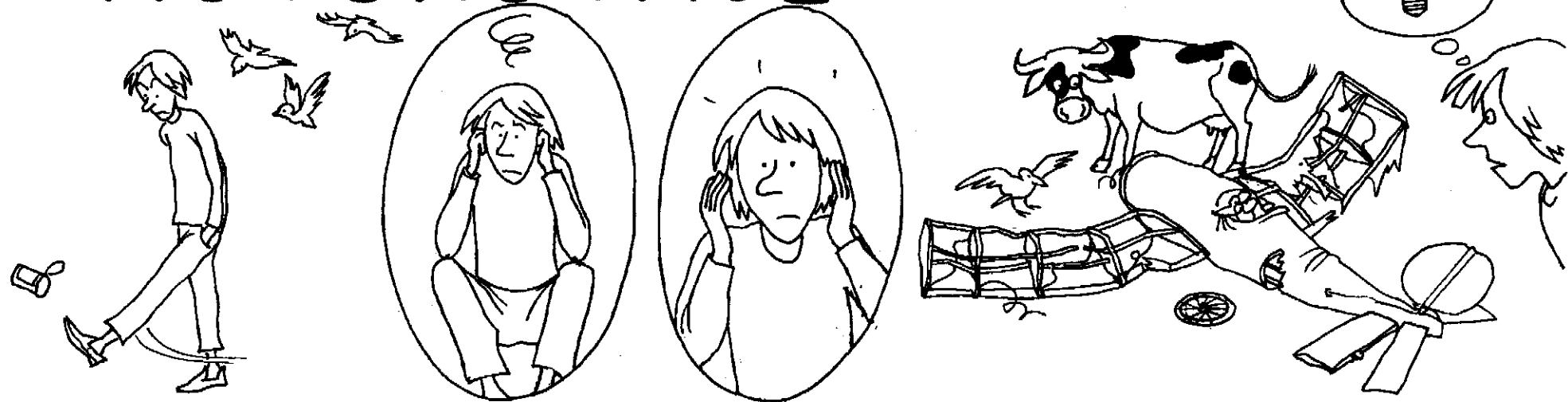
Vaše zdůvodnění je nevyvratitelné mistře. Ale já bych o tom stejně chtěl vědět víc...

Co to Candide dělá?

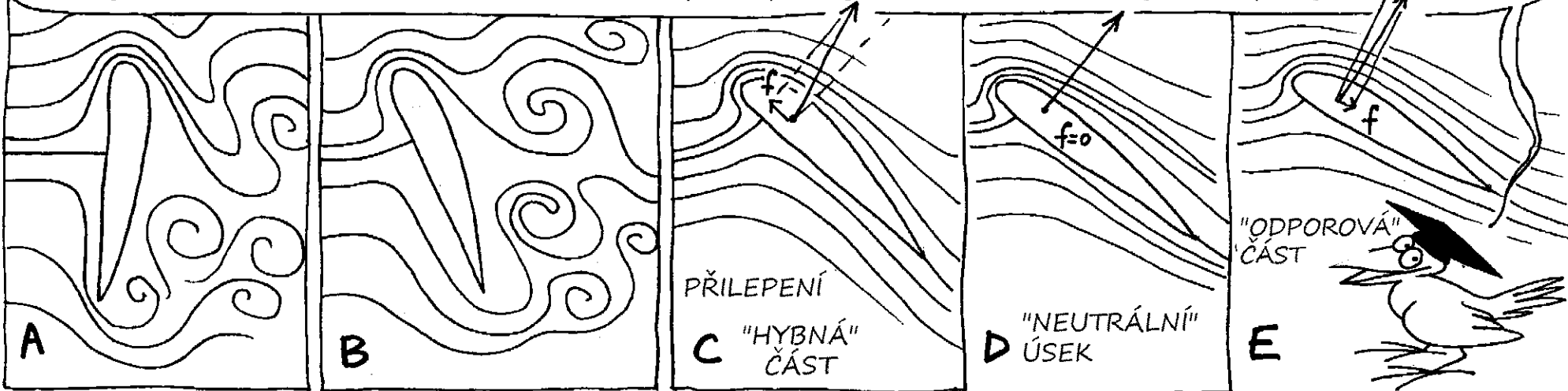
Myslím, že zkusí sestavit dmychadlo, s nímž pan de la Cierva objevil dostatečné zdůvodnění tohoto překvapivého jevu.



AUTOROTACE

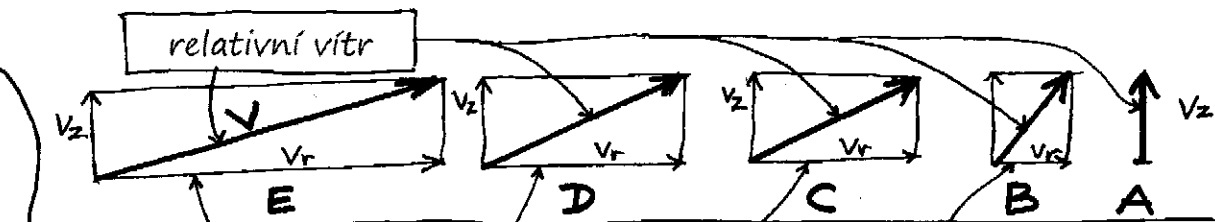


Když úhel náběhu listu vrtule klesá vůči směru **RELATIVNÍHO VĚTRU**, proudění se znovu přilepí k povrchu (obrázek C). Aerodynamická síla (složka f) má tendenci pohánět list vrtule. Na obrázku D je tato síla nulová a na obrázku E má pak opačný směr. Složka f tedy brzdí pohyb listu.

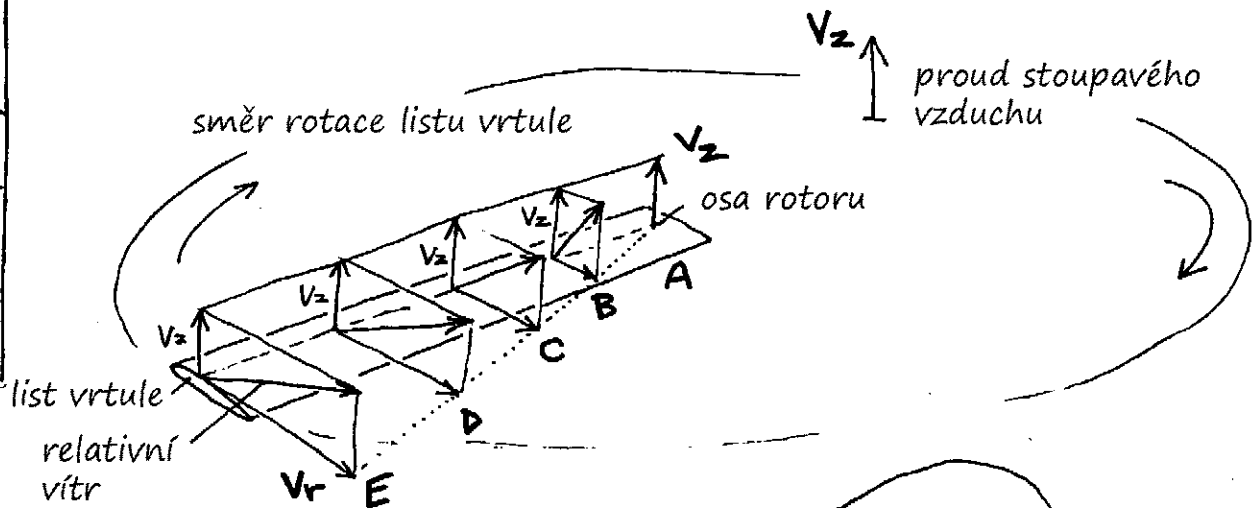


Slyším dobře, můj milý Candide. Ale odkud se bere ta změna směru, kterou nazýváte **RELATIVNÍM VĚTREM**?

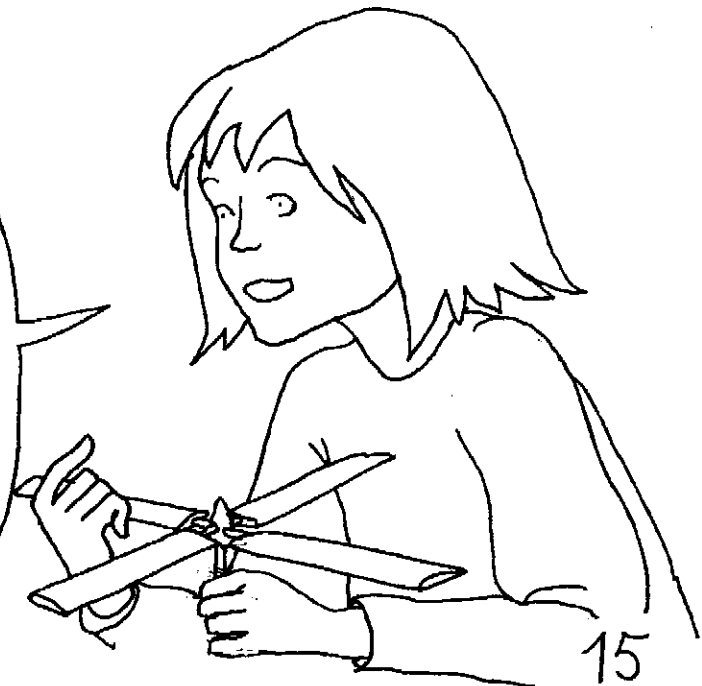
Rychlost rotoru se kombinuje s rychlostí rotace listu vrtule.



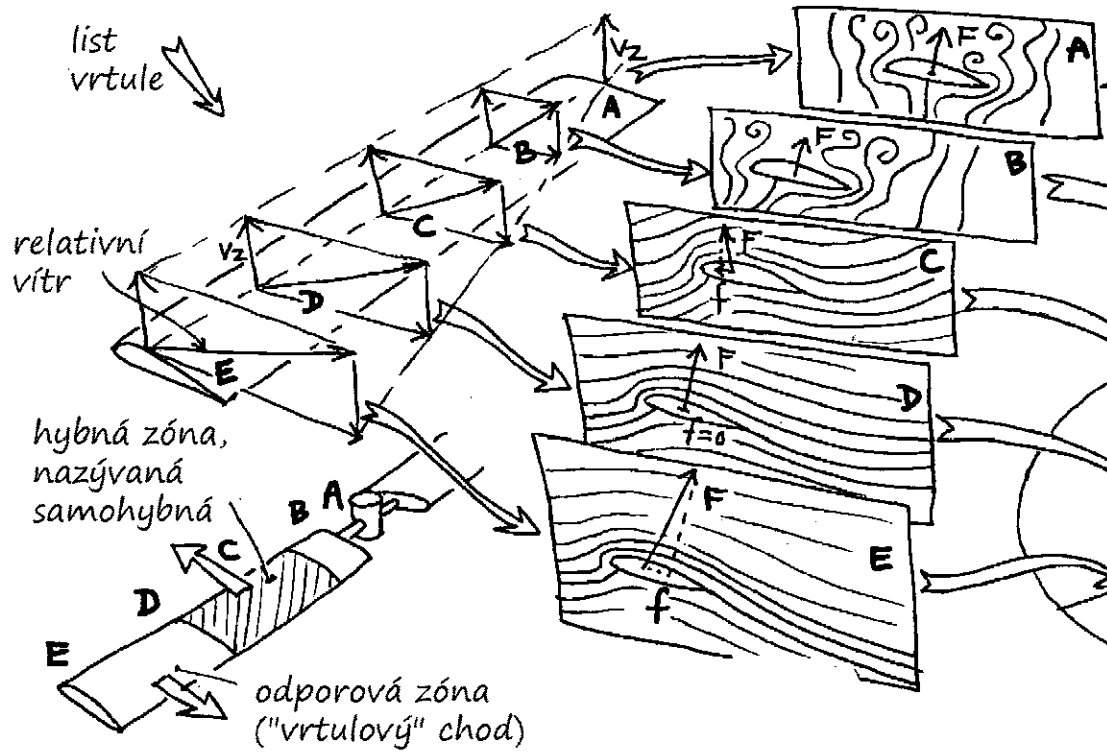
V_r horizontální složka relativního větru v , který je způsoben rotací listu.



Rotor je zaplavený proudem stoupavého vzduchu, který odpovídá rychlosti V_z . Ta se kombinuje s rychlostí indukovanou otáčivým pohybem listu vrtule V_r , s rychlostí, která je přímo úměrná osově vzdálenosti. Výslednice nám dá **RELATIVNÍ VÍTR**, který se postupně pokládá na list vrtule, a to tím více, čím se vzdalujeme od osy. Zároveň jednotka dané rychlosti směrem od osy k okraji vzrůstá.



Podle toho, jakým způsobem RELATIVNÍ VÍTR nabíhá na list vrtule, vzniká různé proudění. Abychom ho mohli spatřit, upravil jsem jednu trubičku, která bude vypouštět kouř, když se list vrtule bude otáčet. A tady jsou rozdílné výsledky, které jsem získal.

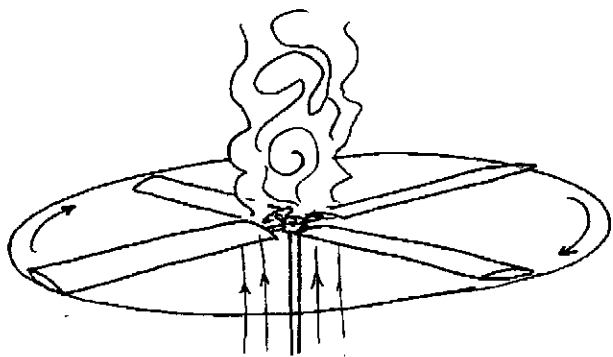


Na obrázcích A a B je proudění odtržené. List vytváří silnou turbulenci. Na obrázku C se proudění vzduchu znovu přimkne k profilu. Aerodynamická síla se snaží hnát list vrtule dopředu (hybná zóna, "autorotační", šedá).

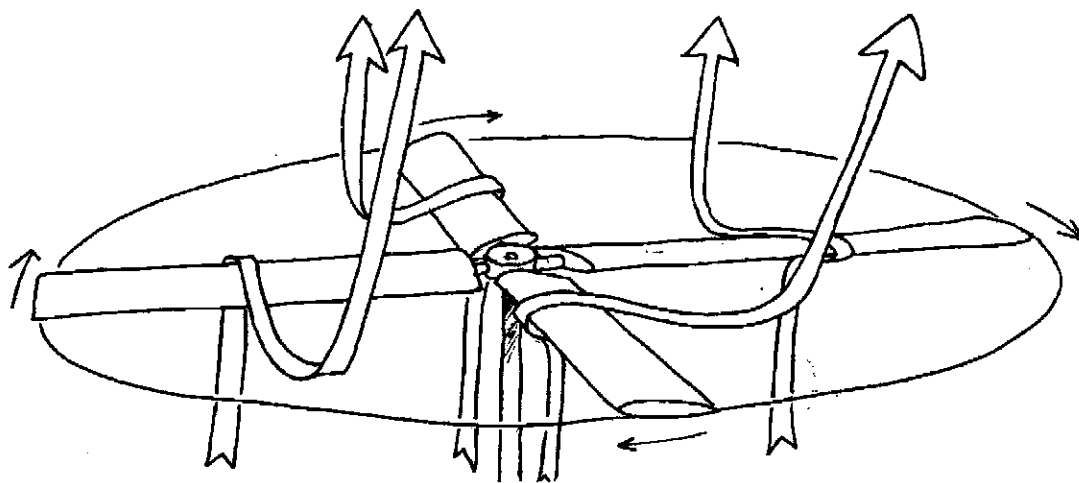
Na obrázku E se aerodynamická síla, která stále směřuje nahoru, pokouší pohyb listu zbrzdit. Obrázek D představuje mezní situaci ($f=0$). Vyšrafovaná část listu je v tomto režimu **AUTOROTACE** hybná, zatímco konec listu "se nechává brzdit". Dochází k vytvoření **AUTOSTABILNÍHO** režimu.

A to všechno bylo vyzkoušeno pomocí dmyhadla Juanem de la Cierva.

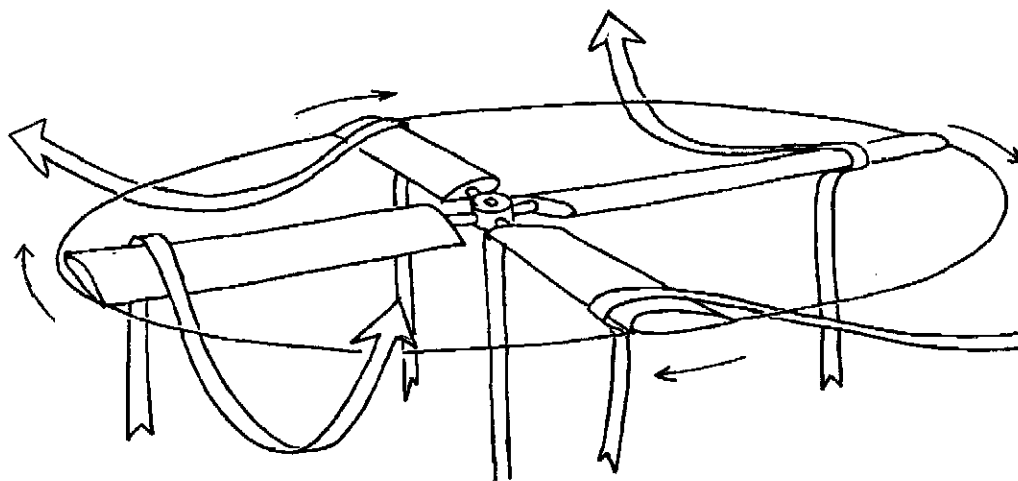




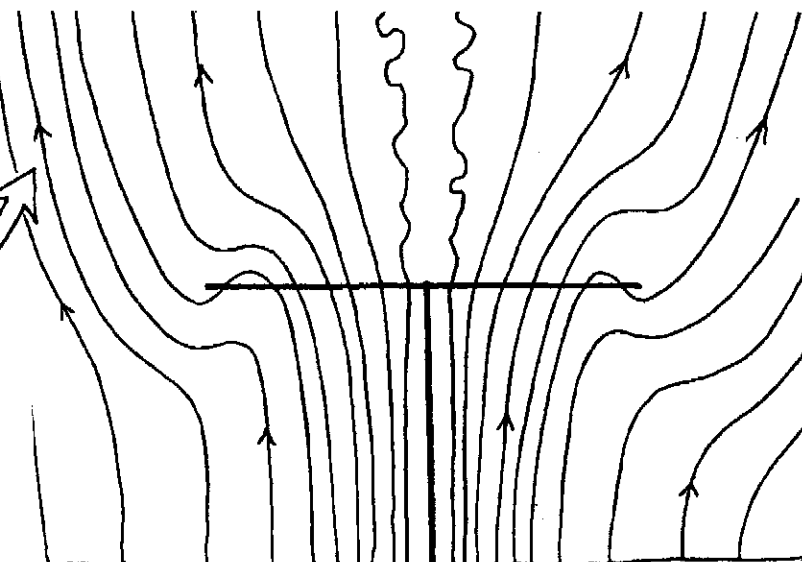
Nad středovou částí (odtržené proudění), úplav je silně vířivý.



Zde se proudění znovu přimyká k profilu listů vrtule.

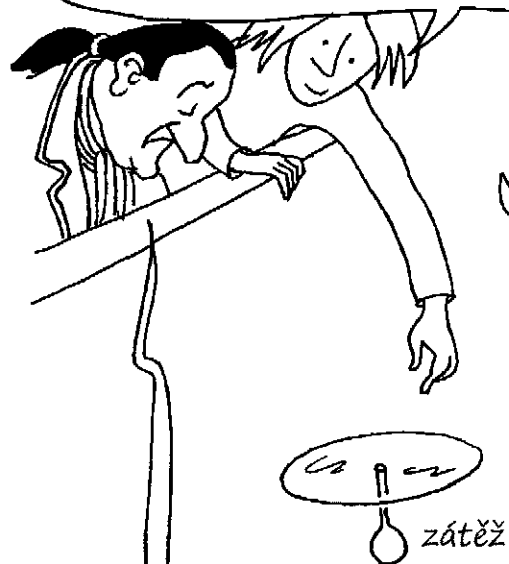


Na okrajích je impuls předaný mase vzduchu, která směřuje dolů (INDUKOVANÁ RYCHLOST), dostatečný. Vzduch tak může znovu vystoupat mimo naznačený disk, jímž rotor pohybuje.



Což dává celkovému proudění vzduchu podivnou podobu, viz výše.

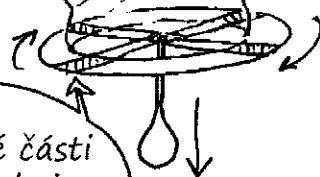
Podívejte se, mistře Panglossi, pustím z okna dolů tuhle malou maketu, přičemž jí dodám minimální impuls.



Minimální ...
ve vztahu
k čemu?

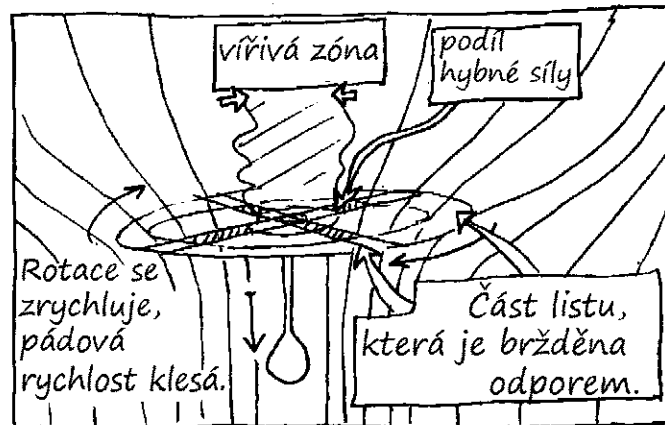
Aby se okrajová část rotoru otáčela dost rychle, čímž se proudění znovu "přilepí". Maketa je poháněná a rotace se zrychluje.

3 one
vířivé
(odtržené proudění)



Okrajové části listů vrtule jsou hnací prvky.

Turbulentní ("odporový") podíl proudění se postupně zmenšuje, čím více se rotace zrychluje. Na konci listu vrtule se objeví "odporový" podíl.



Pádová rychlost se stabilizuje, jakmile se oba momenty vyrovnají. Naplno se prosadí autorotační režim a rychlost klesání je minimální.

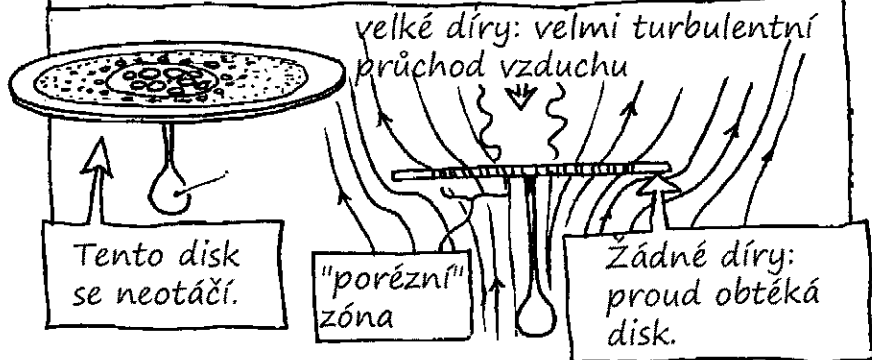
Zmenšená
zóna víření

zóna
"brzd"

hybná zóna
(autorotační)

pádová
rychlost

Stejně proudění bychom získali, kdybychom pustili disk, který se neotáčí a který je prošpikovaný dírami, jejichž průměr se od středu směrem k okrajům zmenšuje. To vytváří různé oblasti porozity.



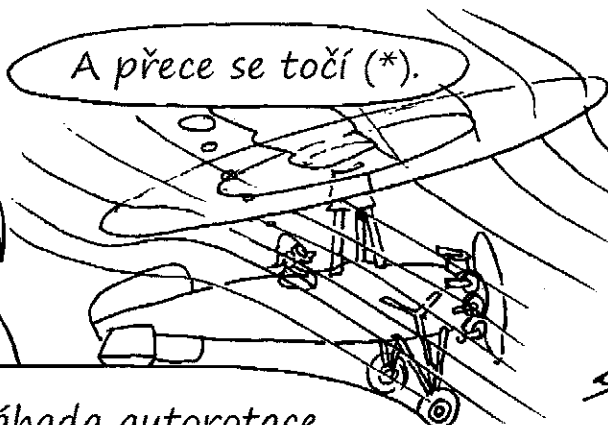
Co by se stalo, kdybyste na začátku nedodal dostatečný impuls k rotaci?

Na koncích listů by nevznikla dostatečná rychlost k tomu, aby se proudění vzduchu "znovu přilepilo". Tedy žádná hybná síla. Žádné nastolení autorotačního režimu: maketa by se dolů zřítíla jako kámen.

Myslel jsem si, že by to mohlo pomoci k útěku milostslečny Kunegondy, ale teď vidím, že je to dobré tak na zlámání kostí.

A vírník?

A přece se točí (*).

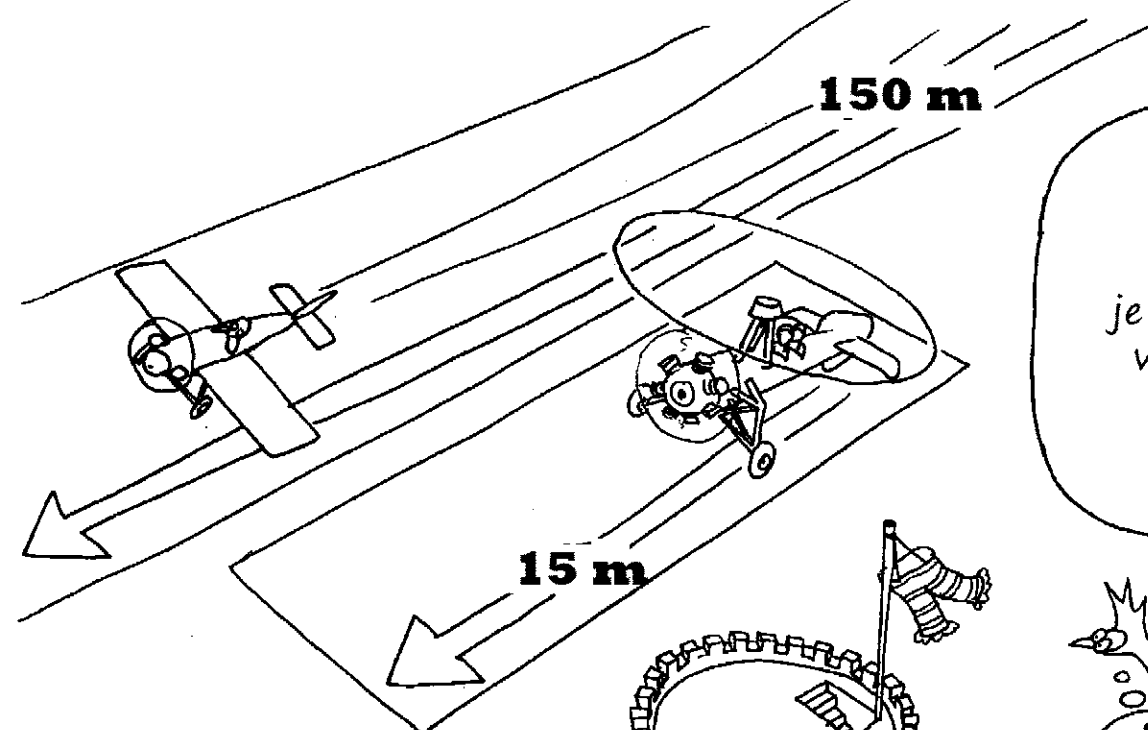


Teď, když je záhada autorotace objasněna, nezbývá než tomu všemu přidat špetku šikmosti. Rotor se chová jako porézní disk s dírami, které se zmenšují směrem od středu k okrajům.

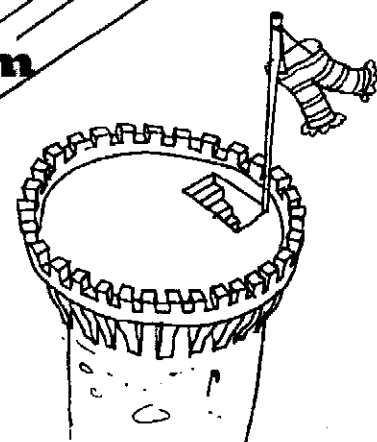
Vírník by se vlastně mohl podobat papírovému drakovi, jehož plachta by byla proděravěná, přičemž by se velikost otvorů směrem od středu k okrajům zmenšovala a uprostřed by byl ještě jeden velký otvor, kterým by procházel vířivý vzduch.

(* et pur se muove (Galileo Galilei).

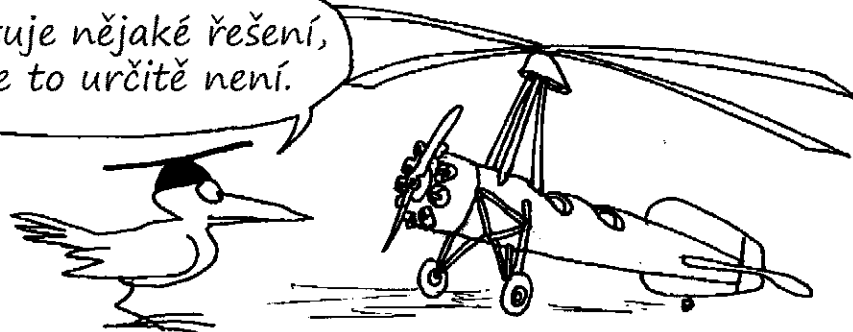




Shrneme to: aeroplán potrebuje k přistání 150 metrů. Vírník se spokojí s 15 metry. Ale ohoz věže je tak úzký, že se opravdu musí provést vertikální sestup, aby se na něm dalo přistát. Jaký létací stroj by tohle mohl dokázat?



Jestli existuje nějaké řešení, tak tohle to určitě není.







O tom nechci nic slyšet!
Moje dcera si nikdy nevezme
prostého neurozeného muže.



Ale Candide není neurozený.
Je synem vaší příbuzné.



... a osmdesáti lovčích ...
nebo aspoň jednoho z nich.



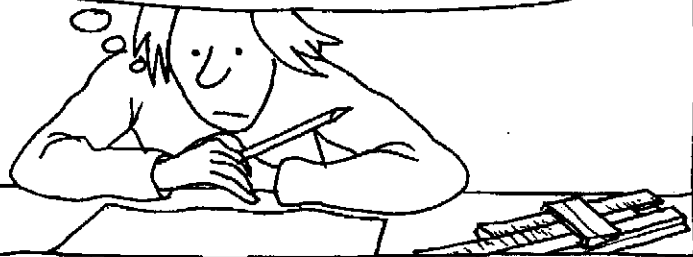
Ale otče, všech osmdesát lovčích
pocházelo z dobrého rodu.



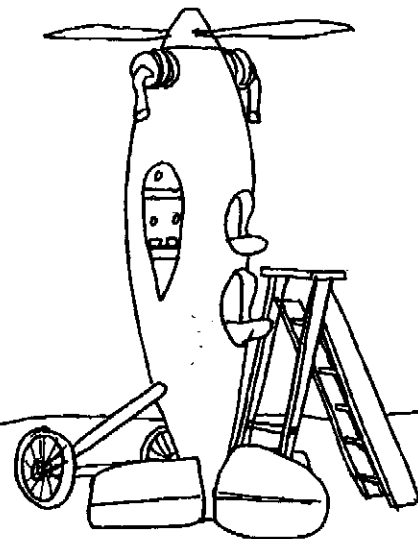
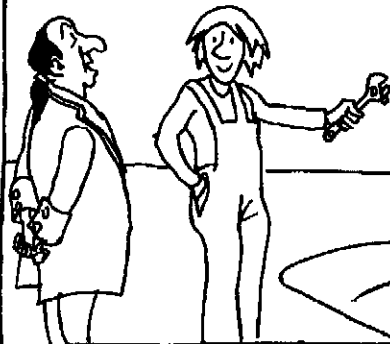
Hmm ... kvůli diplomatickým
otázkám přijdeme raději
někdy jindy ...



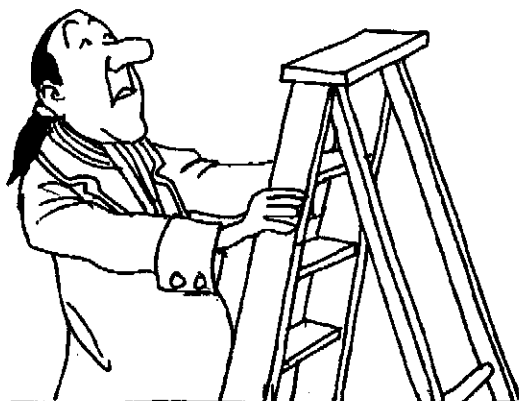
Konečně ten pilot aeroplánu se tak úplně nepletl, když chtěl zvednout nos stroje nahoru. Lepší by bylo upravit tažnou vrtuli na vznosné zařízení. A úplně odstranit křídla.



No, profesore, tak co tomu říkáte?

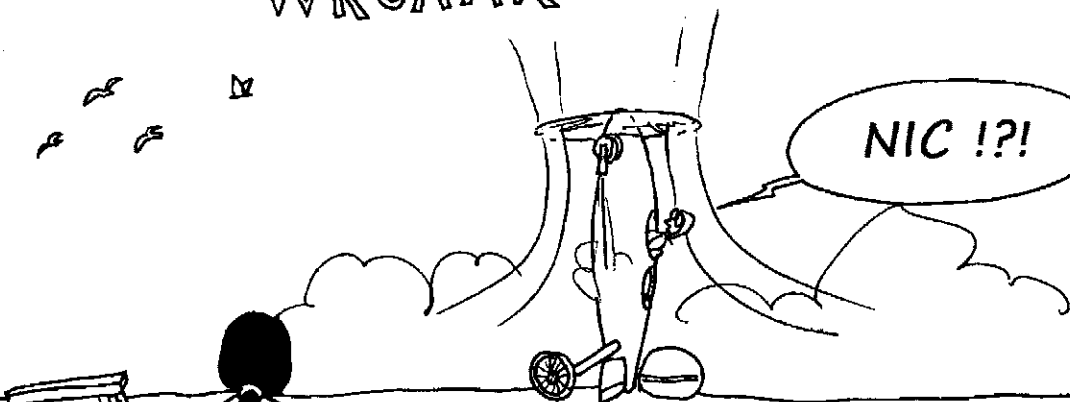


Můžete dát pryč žebřík, naplno spustím start.

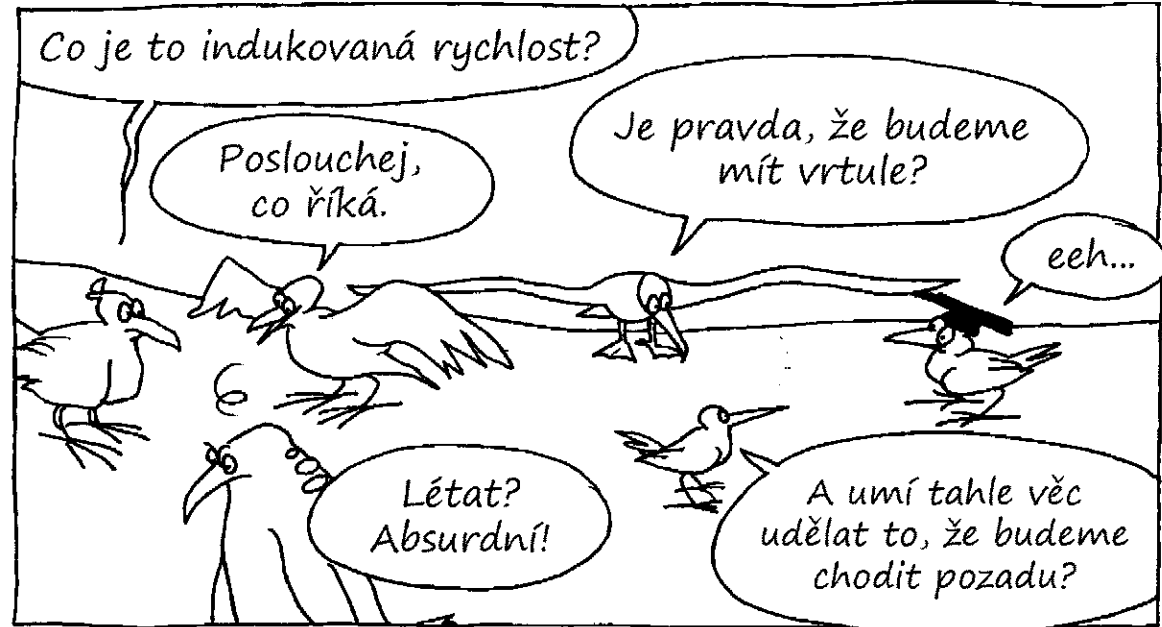


WROAAR

NIC !?!



Nenatlučte si. Přinesu vám žebřík.

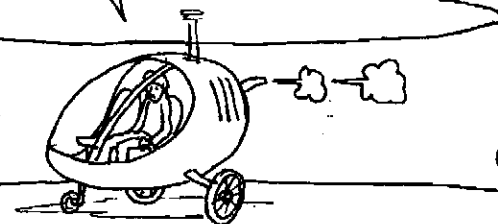
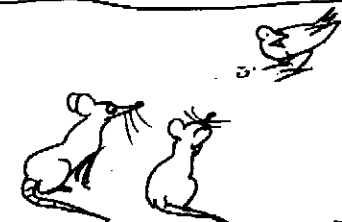


SILOVÝ MOMENT

A můžu taky zvětšit počet listů vrtule (*).

Tentokrát to už musí být v pořádku. Kontakt!

Ověřil jsem to: s takhle silným motorem a s tímto rotorem dokáže stroj vzlétnout.



!?!?

Ajajaj!!

Vzlétnul jsem, Panglossi, vzlétnul. Ale můj stroj s otočnou nosnou plochou se začal hned sám točit opačným směrem než rotor.

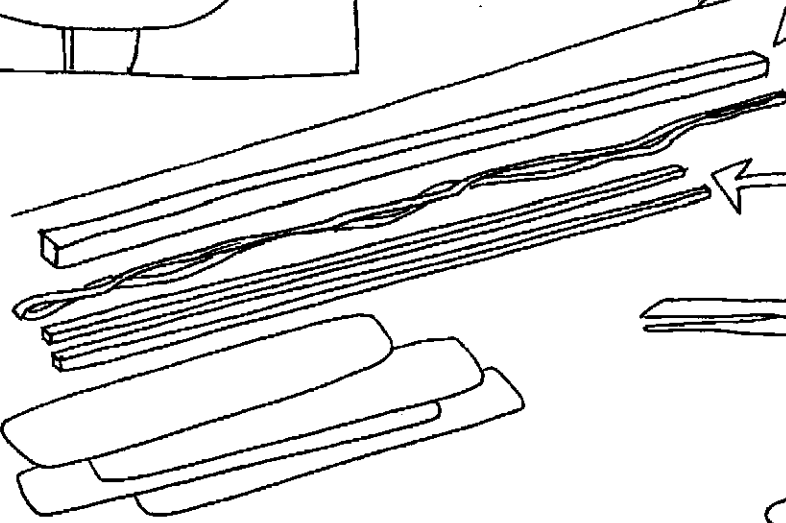


Jaká hrozná zkušenost, mistře. Měl jsem pocit, že se mi uvnitř hlavy točí mozek!

(*) To, co následuje, platí pro 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ... listů vrtule.



Tady je autostabilní vrtulník vybavený dvěma rotory, které se točí proti sobě a z nichž jeden je spojen s otočným trupem.



pianová struna, ocel 5/10°

list bristolské lepenky

kuličky kroužky

Balsová tyč s čtvercovým průřezem 6x6.

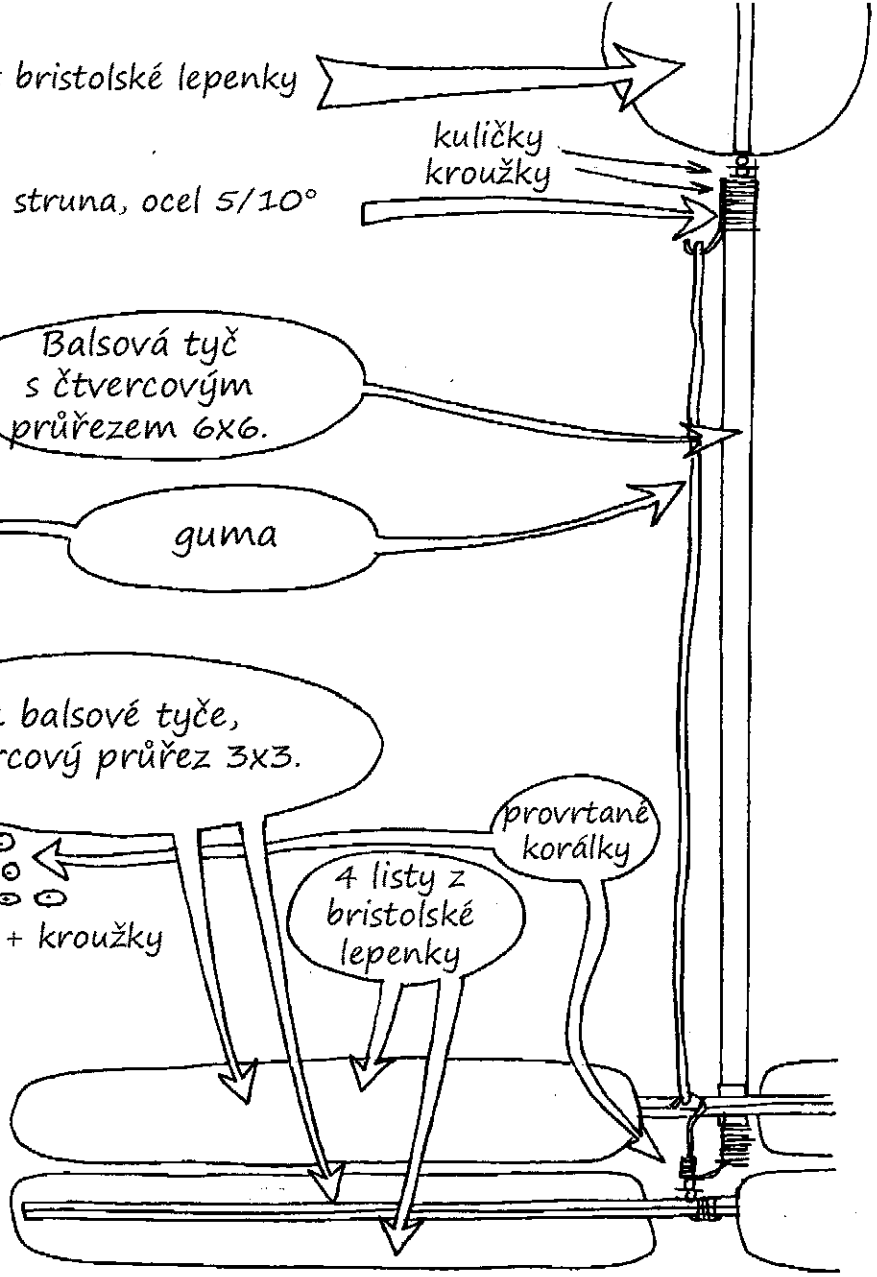
guma

2 balsové tyče, čtvercový průřez 3x3.

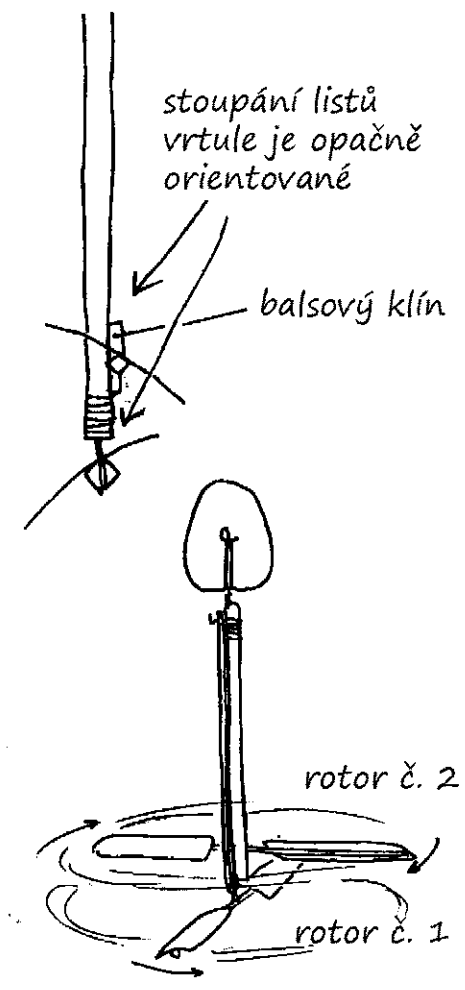
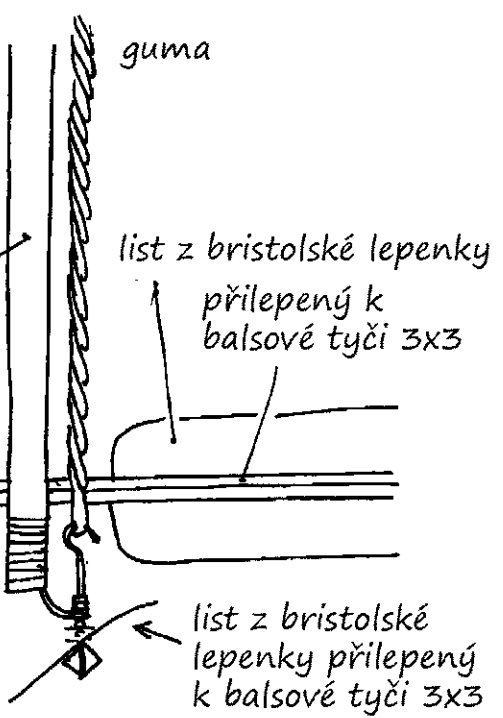
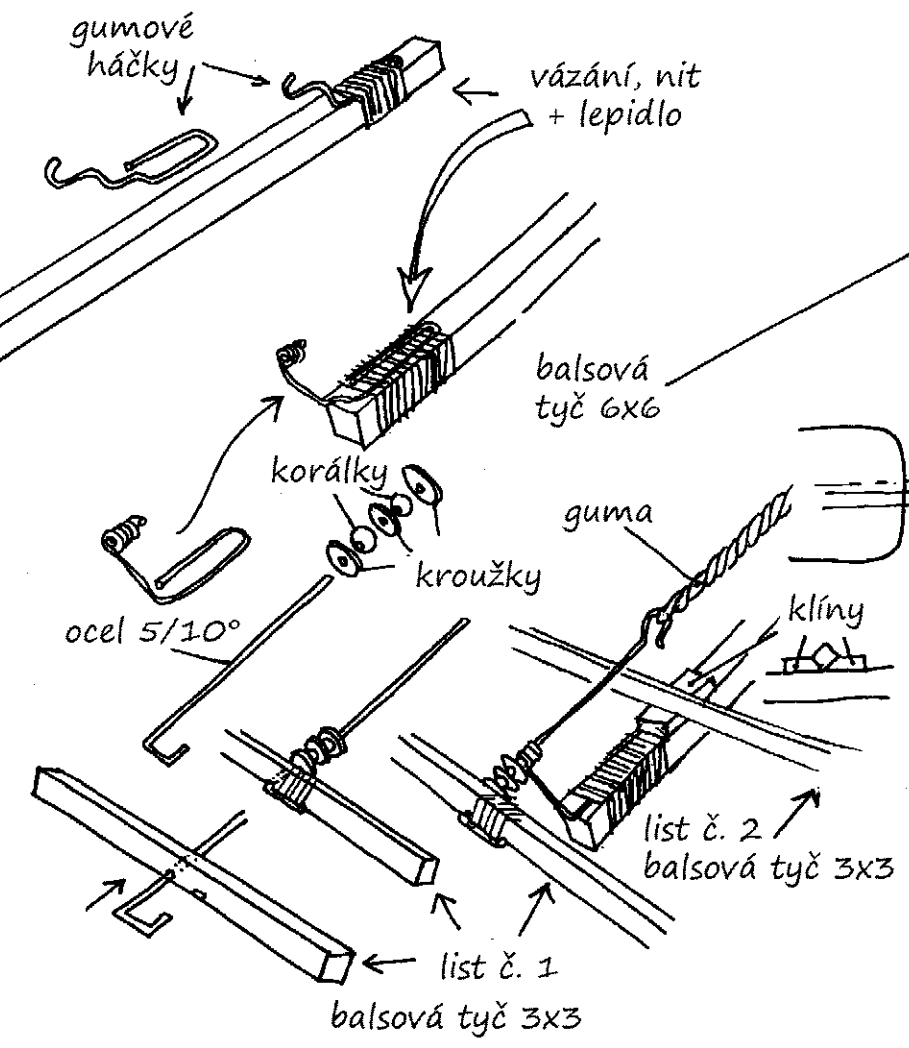
+ kroužky

4 listy z bristolské lepenky

provrtané korálky



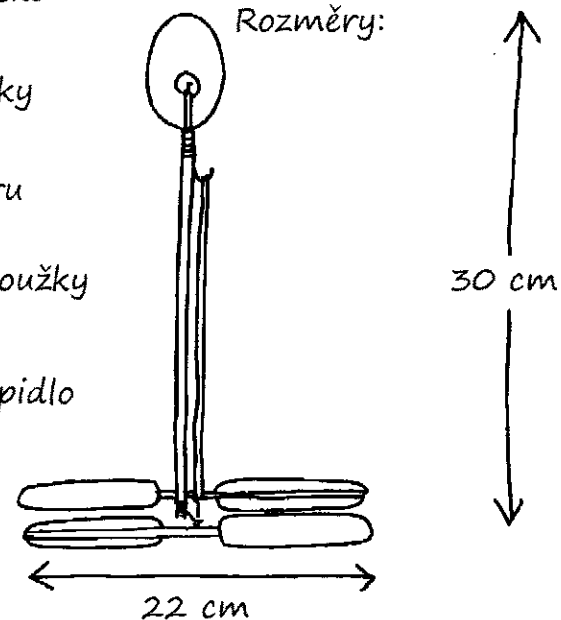
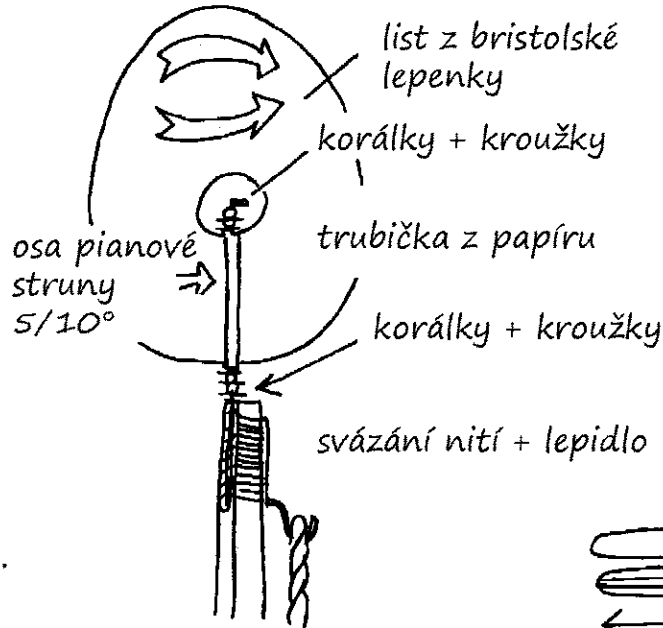
Nelehká část úkolu spočívá ve zkroucení pianové struny, a to pomocí DVOU kleští, tak, že se vyrobí tyto součásti:



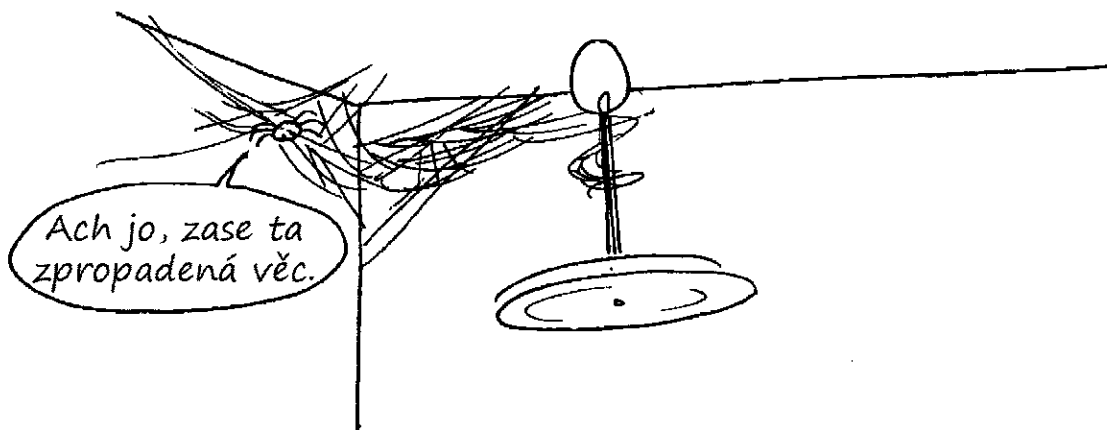
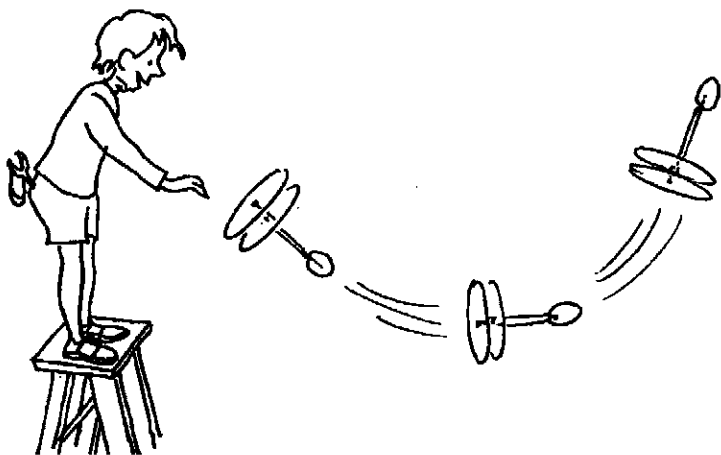
Guma uvádí do pohybu vnitřní rotor, č. 1. Následkem silového momentu se rotor č. 2, který je spojený s hlavní tyčí-"trupem", začne otáčet v opačném směru.

Výroba vrchního listu vrtule, který dokáže stroj uvést do autostability,

K výrobě trubičky o malém průměru stačí natočit kousek papíru na velký špendlík. Přidáme ještě trochu lepidla.

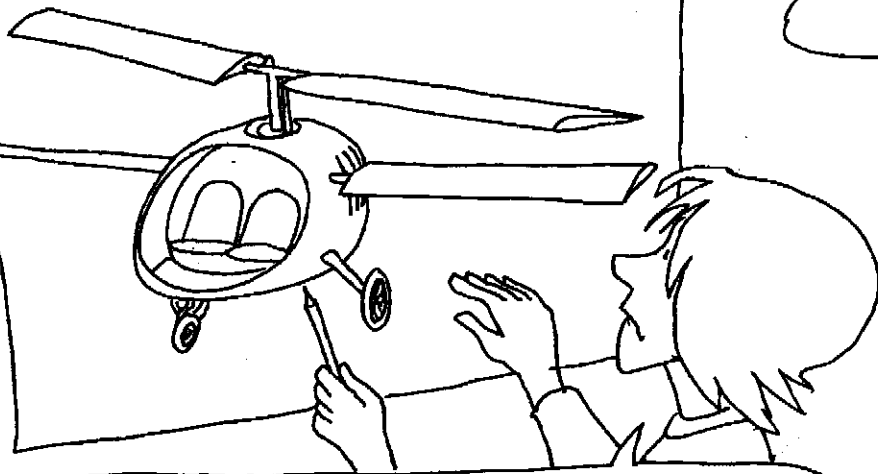


Když se vrtulník nakloní, letí bokem. Účinek působící na vrchní list vrtule ho znovu zvedne. Je odkázán sám na sebe, stoupá, přičemž se kolébá.

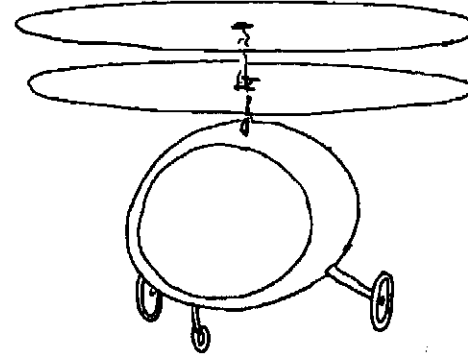


(*) Když jsem byl dítě, používal jsem tuhle věčičku k odstraňování pavučin, které byly na vysokých stropích hradu v Thiors (Francie).

Candide uvažuje o různých řešeních.

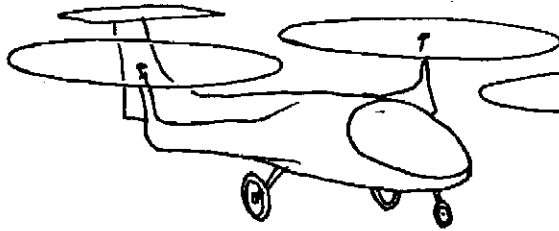


Ne, to je pitomost. Nesedneme si do kabiny, která se točí.



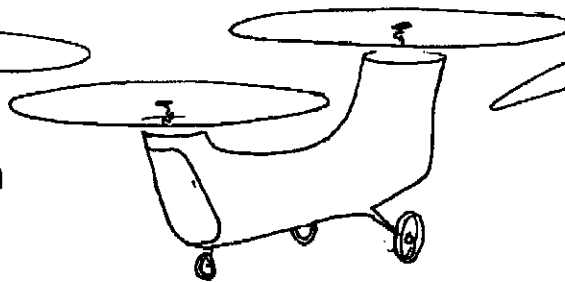
Dva rotory točící se proti sobě byly vynalezeny Francouzem Launeym a rozšířeny Rusem Kamovem.

boční rotory



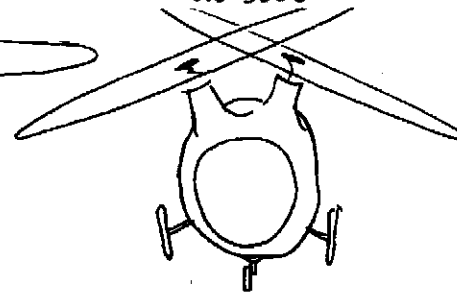
vynalezené Angličanem Cayleym, převzaté Němcem Fockem

tandemové rotory



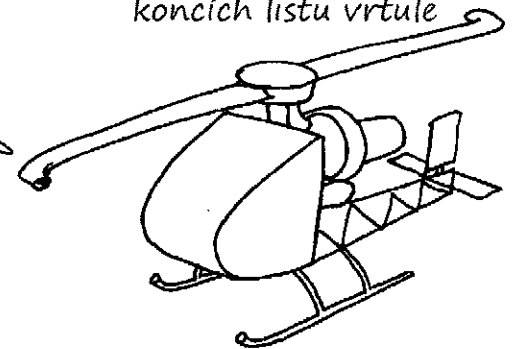
vynalezené Francouzem Cornuym, zdokonalené Piaseckim

rotory zasunutě do sebe



Němcem Flettnerem, zdokonalené Kamanem

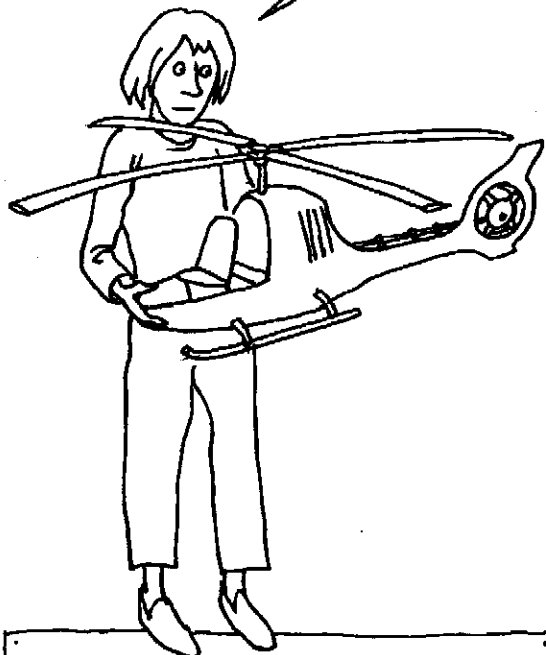
vypouštění plynu na koncích listu vrtule



(Francouz Morin)

Yves le Bec napsal dílo s nádhernými ilustracemi, které se jmenuje: "Opravdová historie vrtulníku, 1486 - 2005", vydané nakladatelstvím Ducretet SA, CH-1022 Chavannes-près-Renens ISBN 2-8399-0100-5. Najdete zde všechny možné modely vrtulníků, které si člověk kdy představoval.

Navrch ocasní plochy umístím směrový rotor. Mechanicky ho spojím s hlavním rotorem a to by mělo fungovat. Když zvýším výkon motoru, rotor se přidá a bude automaticky zajištěno vyvážení silového momentu.

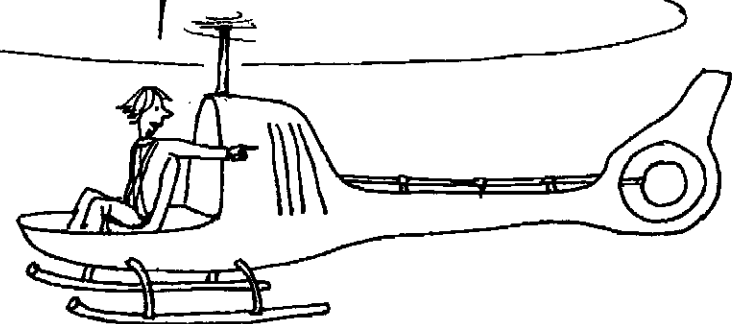


Ocasní směrový rotor byl vynalezen Rusem Jurievem a byl vyvinut Igorem Sikorským.
(* Fenestron byl zaveden Francouzem Mouillem.



Okamžitě se vrať, jinak tě to vcucne a udělá to z tebe kolečka salámu.

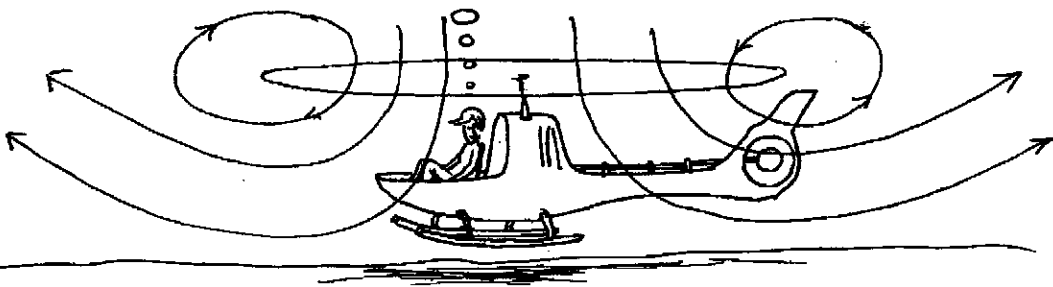
Panglossi, a je to, dokázal jsem to.



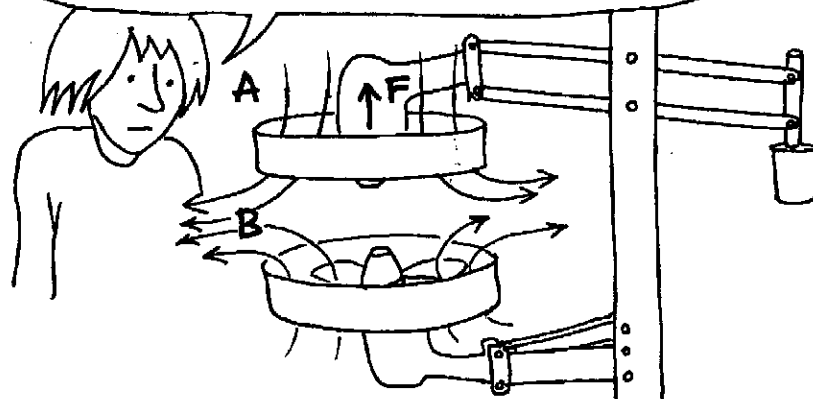
Tohle ukazuje, že všechno vede k tomu nejlepšímu z nejlepšího ze všech možných aeronautik.

VLIV BLÍZKOSTI ZEMĚ

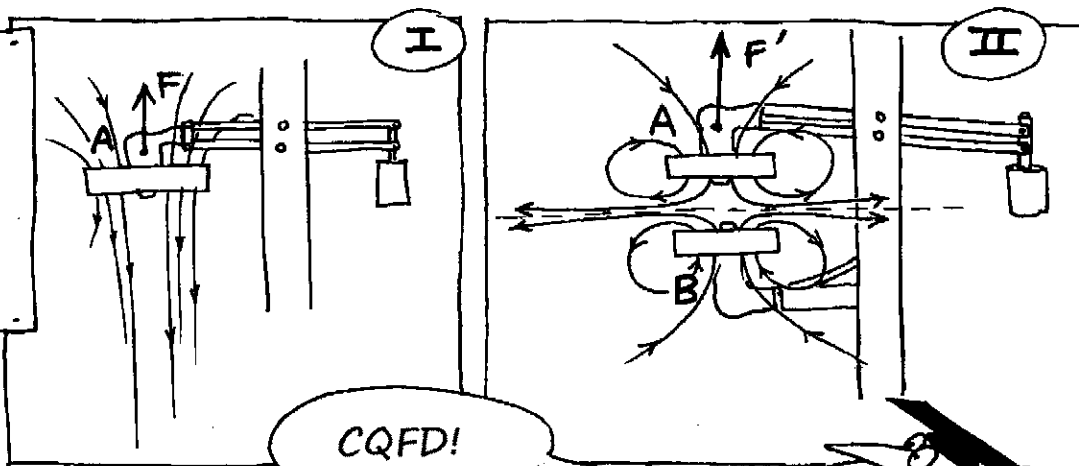
To je zvláštní. Při zemi se dokážu udržet i s velmi slabým výkonem.



Tahle mašina není nic jiného než obrovský větrák. Nechám větrat dva větráky, které dám proti sobě.



Ve stejném režimu je vznosná síla, která působí na větrák A, mnohem větší, když je proti němu větrák B, a přitom jsou oba v chodu, než kdyby větrák A vířil sám. Větrák B totiž víří vzduch opačným směrem.



Proudění II je stejné, jako kdybychom zapnuli větrák A proti zemi.

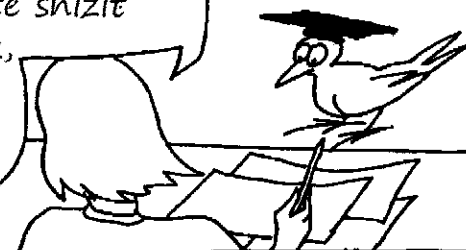
(*) Vliv blízkosti země je značný, když je vzdálenost rotoru od země rovna nebo je menší než polovina jeho průměru.

NABRAT OTÁČKY

Můj rotor má slabé stoupání. Ale jakou hodnotu zvolit? Čím větší je stoupání a vyšší úhel náběhu listů vrtule, o to více **ODPOR** brzdí rotaci vrtule.



Jestliže motor z jakéhokoli důvodu podlehne ztrátě výkonu, odpor zpomalí jeho rotaci (*). Pokud rychlost odpovídající **RELATIVNÍMU VĚTRU** klesá, odtržení proudění se rozšíří na celý profil. A jestli k tomu dojde, tak nazdar průšvih. Pak by bylo třeba okamžitě snížit stoupání sešlápnutím plynu nadoraz, abych za každou cenu udržel režim rotoru a znovu nabral otáčky.

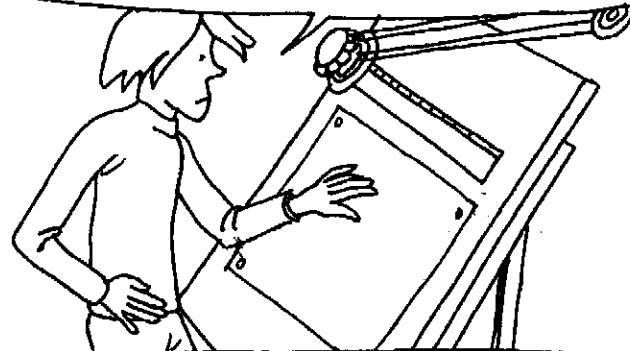


Co říká?

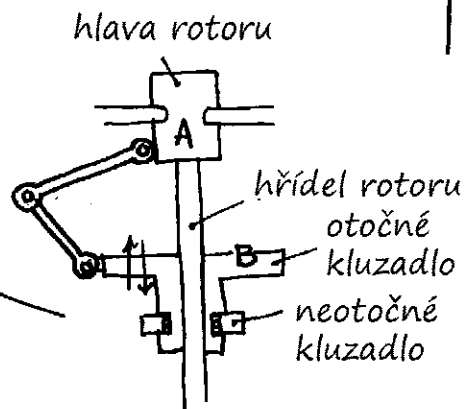
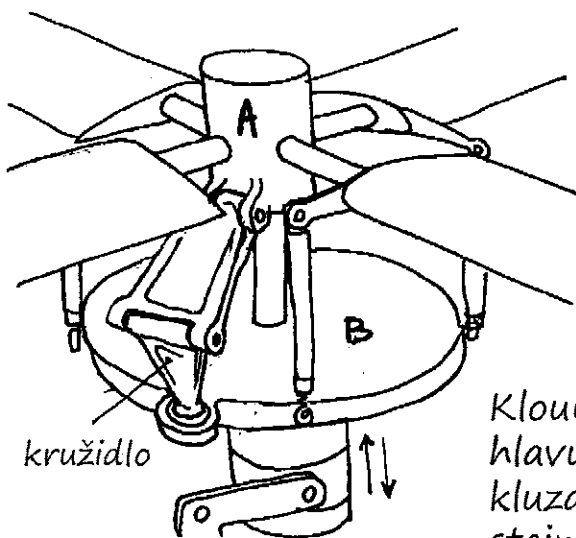
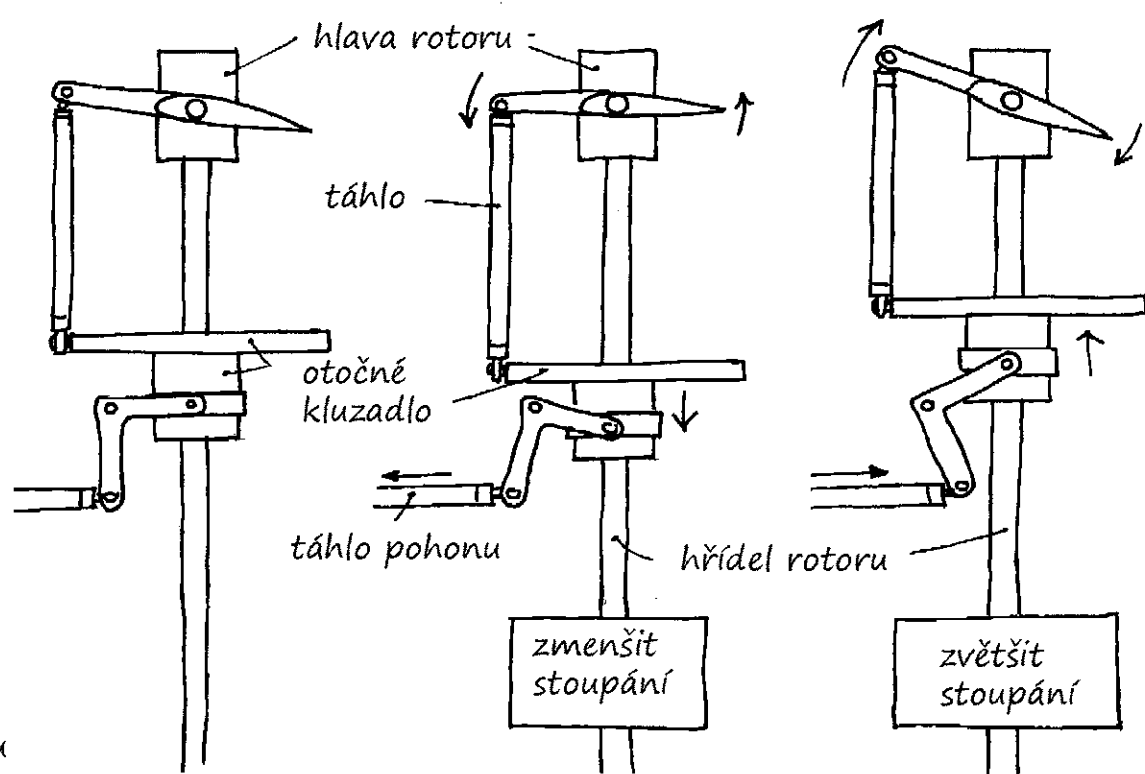
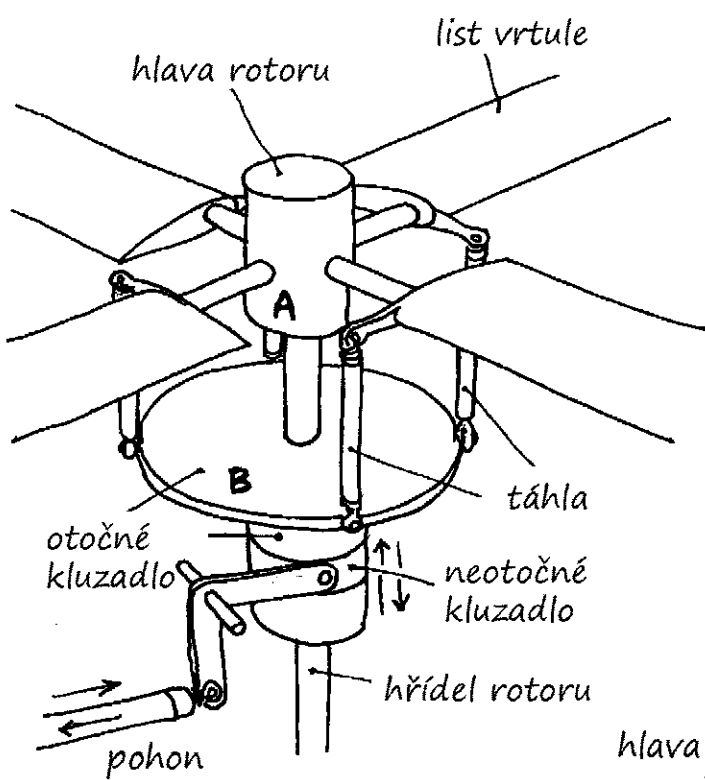
To se tě netýká. Ty nemáš otočnou nosnou plochu, pokud vím.

Euch, to si nemyslím ...

Je třeba, abych upravil stoupání, to znamená úhel náběhu listů vrtule při letu.



(*) Rotor, jehož motor by přestal znenadání fungovat, by byl velmi nebezpečně zpomalen ... až na 1 sekundu!



Kloubové "kružidlo" nutí hlavu rotoru A a otočné kluzadlo B, aby se otáčely stejnou úhlovou rychlostí.

Se systémem tohoto druhu můžeme měnit stoupání listů rotoru, a to působením na neotočné kluzadlo, které je spojené kuličkovým ložiskem s otočným kluzadlem B. To zase předá impuls listům prostřednictvím táhel.

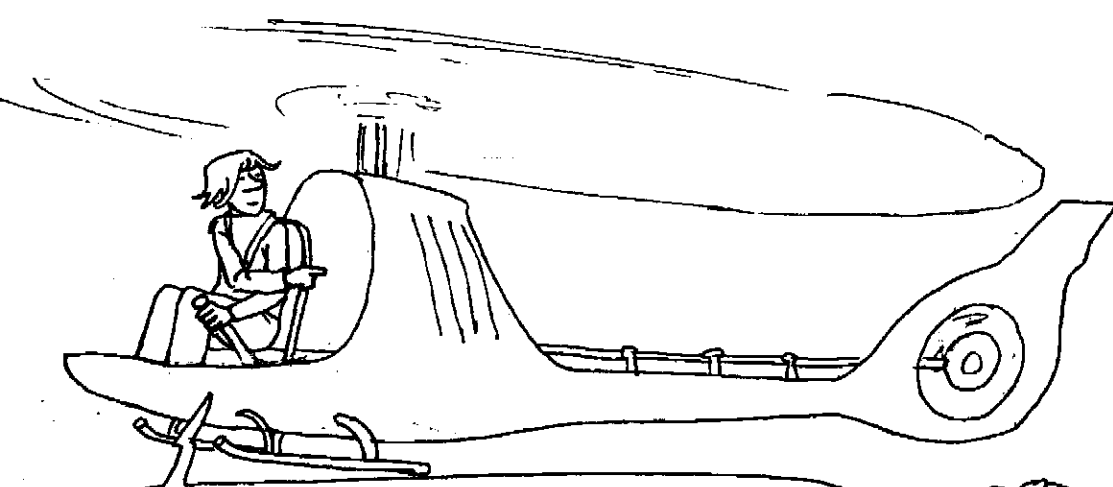
Ředitelství

Upravil jsem systém řízení, který mi umožní libovolně měnit stoupání vrtule prostřednictvím páky v kokpitu.

Dal jsem tam navrch také pohon plynu.

otočná rukojeť:
pohon plynu

páka nahoru: zvětšení stoupání vrtule
páka dolů: zmenšení stoupání vrtule



Stejný systém jsem upravil pro ocasní směrový rotor, abych se vyhnul bočení, když budu měnit celkové stoupání. A taky jsem přidal ovládání nohou, nožní řídicí páku, která mi dovolí otočit se na místě.



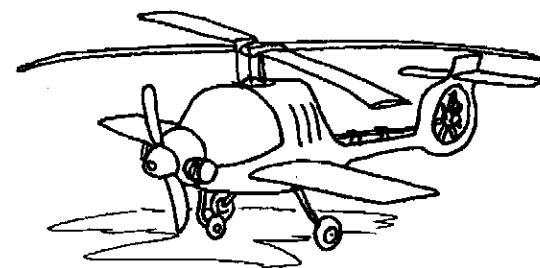
Cože?
Vůbec nic
neslyším...

Dobrá. Sestrojil jsem tenhle létací stroj, abych mohl zachránit Kunegundu. Můžu libovolně stoupat, klesat, otáčet se kolem dokola. Ale zbývá ještě jedna otázka: jak se pohybovat dopředu?



A proč byste nemohl přidat ještě jednu vrtuli, kormidlo?

To všechno mi přijde pěkně složité.



Tohle je létající káča, kterou vynalezl Angličan George Cayley v roce 1796.



Jé, podívejte!



Kdybych mohl rotor naklonit, pohyboval by se stroj vodorovně úplně sám.

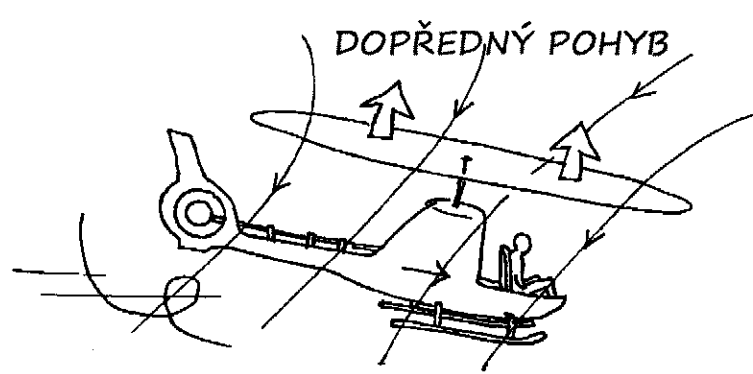
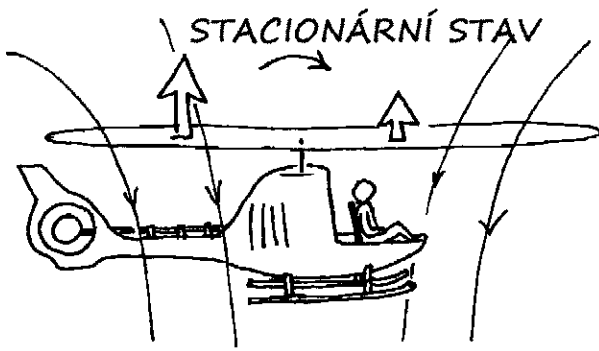
Možná by pomohlo, kdybyste se přesunoval v kabině. To by změnilo polohu těžiště.



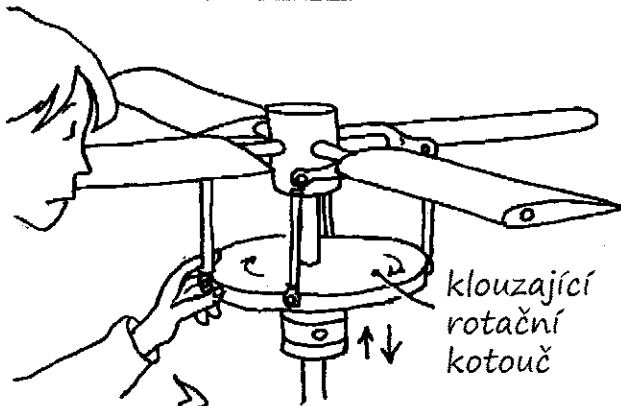
A až by Kunegonda nastoupila na palubu, jak by se to pak vyrovnalo !?!

Napadá mě jiné řešení.

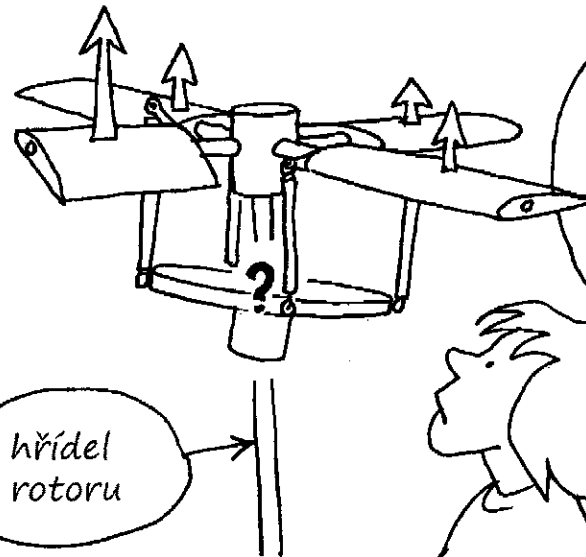




Kdybych mohl zvětšit vztlak listů rotoru, když jsou vzadu a naopak zmenšit vztlak, když jsou vepředu, s využitím **CYKlické Změny Úhlu Nastavení Listů**, mohl bych vyvolat klopení stroje a přejít do **DOPŘEDNÉHO** pohybu.



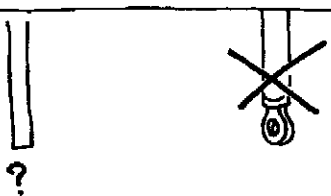
Stoupání listů vrtule je dané polohou rotačního kotouče klouzajícího po hřídeli rotoru.



hřídel rotoru

Kdybych mohl udělat to, aby byl kotouč nakloněný a přitom se všechno točilo, mohl bych tuhle cyklickou změnu úhlu nastavení listů (*) vytvořit. Ale jak tenhle binec skloubit a ovládat?

(*) Vynalezená Španělem **PESCAROU**, který zavedl koncept **AUTOROTACE**.

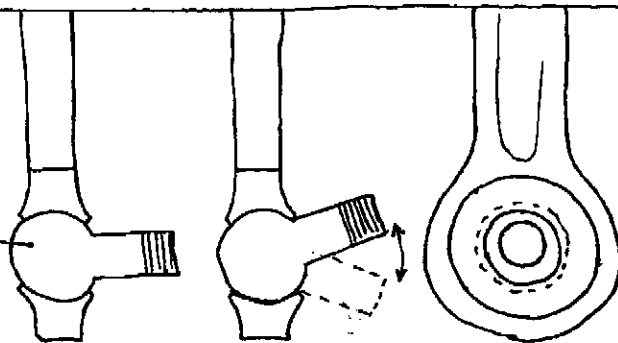


Nejdříve by to chtělo nějak připojit táhla ke kývajícímu kotouči.

Existuje to. Spojení je provedeno pomocí kulové dosedací plochy.



koule

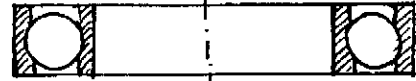


Jeden z prvků je zakončený kulovým kloubem, který je zasazen do ložiska, což umožňuje určitý zdvih.

Život pilota vrtulníku závisí na komplexní mechanice, přičemž do hry vstupují táhla tohoto typu, soukolí, ložiska, všechny tyto prvky musejí být vyrobeny s maximální přesností, následně kontrolovány a pravidelně vyměňovány. Náklady na výrobu a údržbu jsou mnohem větší než v případě letadla. Od sedmdesátých let se používají nové materiály: nerez, elastomery, samomazací složky, které umožnily zjednodušit složitost, snížit hmotnost, výrobní náklady, rytmus údržby. To vše získalo na spolehlivosti. To už se ale dostáváme mimo rámec našeho vyprávění.

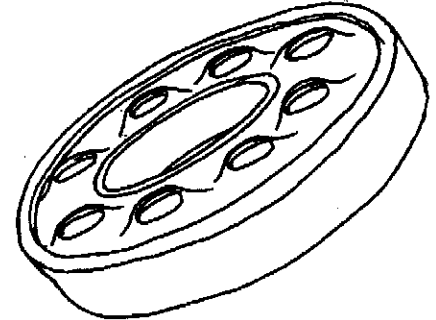
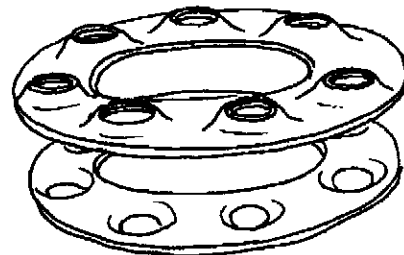
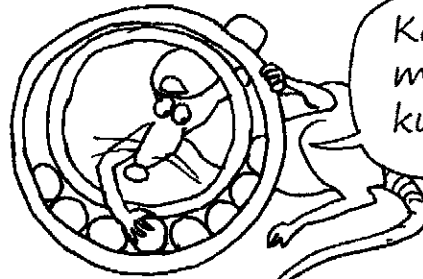


Důležitý prvek je kuličkové ložisko.



Ale jak do něj dostat ty zatracené koule?

Když pouzdro decentrujeme, můžeme umístit určitý počet kuliček.

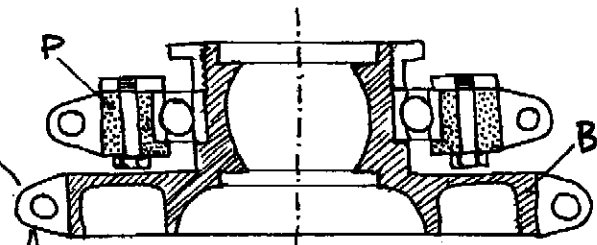
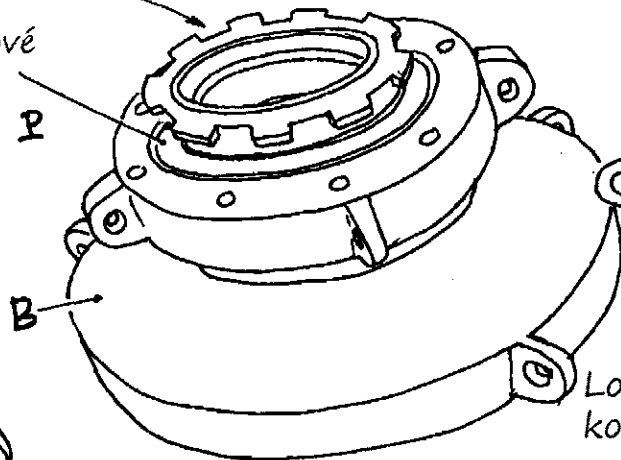
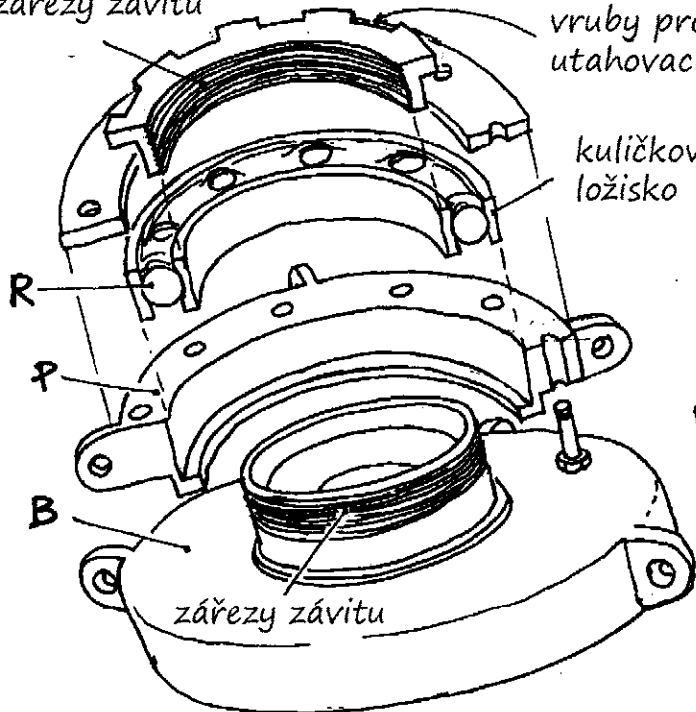


Ty se pak drží na místě díky kleci, která se skládá ze dvou prvků buď svařených, do sebe vsazených nebo přilepených.

zářezy závitu

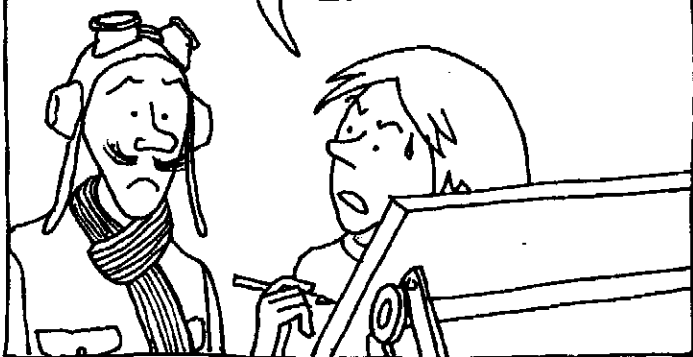
vruby pro utahovací klíč

kuličkové ložisko

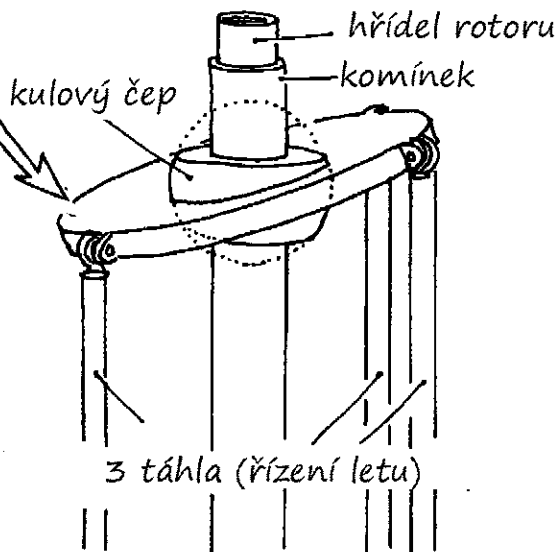


Ložisko dovoluje oběma kotoučům, jednomu otočnému P a druhému neotočnému B, pohybovat se vůči sobě tak, že zůstávají souosé.

Nechtěl bych vás zarmoutit, starý příteli, ale to vaše letadlo je vedle toho z mechanického hlediska opravdu legrační.



Kolem kulového čepu se naklání neotočný kotouč B, jehož orientace bude ustálena díky leteckému řídicímu systému.

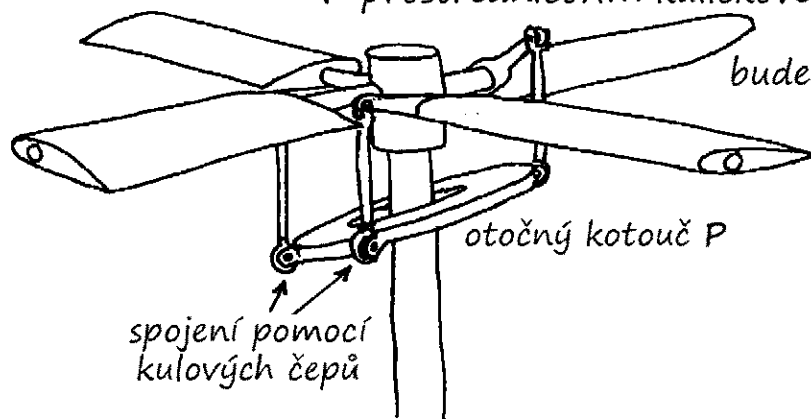


Aby se věc, která je šikmo, otáčela rovně. Řešení je KULOVÝ ČEP.



Kulový čep, který bude klouzat po KOMÍNKU, uvnitř kterého se otáčí HŘÍDEL ROTORU.

Neotočný kotouč B bude propojený s otočným kotoučem P prostřednictvím kuličkového ložiska (viz předchozí strana). Otočné ložisko bude ovládat naklonění listů vrtule prostřednictvím táhel.



Předtím, než uzavřeme tuhle studii věnující se vačce, nám zbývá ještě pár problémů. Zaprvé, jak propojit otočný kotouč P s hlavou rotoru. Nemůžeme tenhle úkol přece svěřit poměrně křehkým táhlům?

Druhá otázka: jak umístit kulový čep do jeho ložiska v kotouči B?

Ne, nůžky se toho ujmou. A umístíme stejné zařízení mezi neotočný kotouč B a strukturu vrtulníku.

Kulový čep je samomazací prostržený kruh z teflonu, jehož vnitřní kontaktní plocha je válcová a vnější kulovitá. Když ho zdeformujeme, jak bylo řečeno, bude moci ve svém ložisku klouzat bez velkých potíží. Pak to všechno můžeme nasadit na komínek, uvnitř kterého se otáčí osa rotoru.

hlava rotoru

"kružidlo"

táhla

otočný kotouč P

↑
spojení pomocí kulového čepu

neotočný kotouč B

SYNTÉZA NA NÁSLEDUJÍCÍ STRANĚ →

VÁČKA

táhlové spoje

bočnice

spoj pro řídicí mechanismus

hřídel rotoru

komínek

hřídel rotoru

upevňovací kroužek kružidla II

zářezy

kružidlo II

utahovací kruh

sešroubovaná bočnice

otočný kotouč

neotočný kotouč

kružidlo I

spoj kružidla II

teflonový kruh, prostřížený - umožní smontování s kulovou kontaktní plochou (kulový čep)

vruby umožňující utáhnutí

kulová kontaktní plocha

Zářezy závitu utahovací objímky.

táhlové spoje

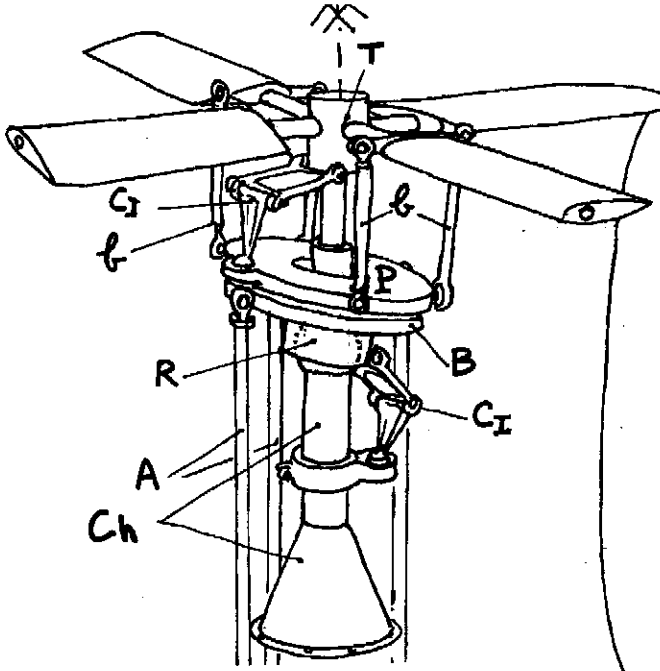
spoje pro řídicí mechanismus

spoj kružidla I

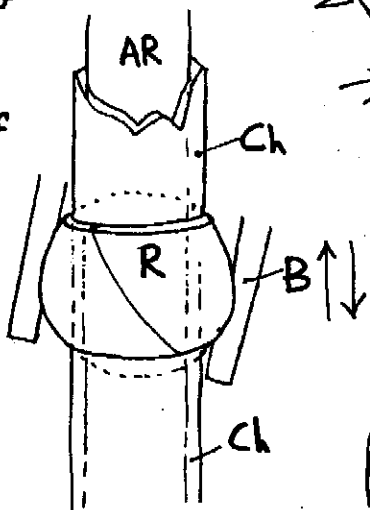
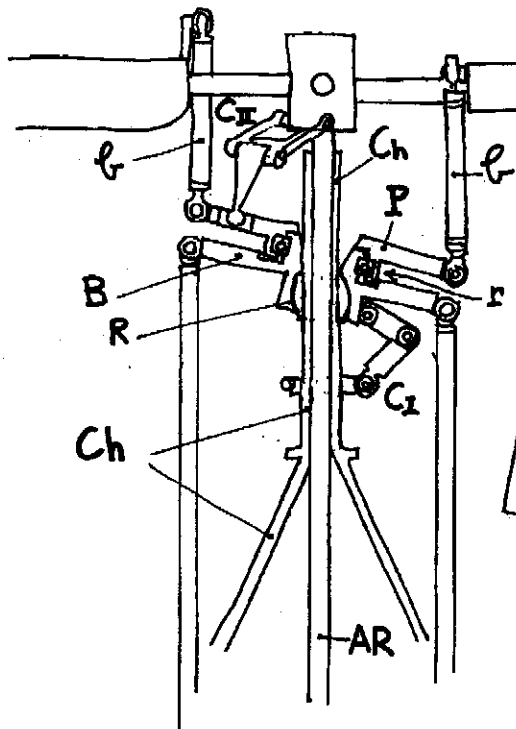
komínek

Vrtulová mechanika vyžaduje bohatou vynalézavost, aby z ní nakonec vzešla úplně jednoduchá montáž, pevná, lehká, odolná, která potřebuje minimální počet součástí.





Vraťme se k čitelnějšímu schematickému popisu. Řídicí mechanismus A, který se skládá ze tří tyčí, dokáže zvedat, spouštět a klopat do všech směrů neotočný kotouč B. Ten je ovládaný kulovým čepem R, který volně klouže po komínku Ch a který je spojený se strukturou vrtulníku. První KRUŽIDLO C_1 připevněné na komínek Ch se staví proti rotačnímu pohybu kotouče B prováděnému vůči struktuře vrtulníku (komínek Ch). Otočná vačka P je spojena prostřednictvím kuličkového ložiska r s neotočným kotoučem B. Polohu kotouče B určuje pilot prostřednictvím řídicího mechanismu A. Kotouč P posílá tento příkaz listům vrtule prostřednictvím táhel b. Druhé kružidlo C_{II} propojuje hlavu rotoru T s vačkou P. Kdyby byla tahle úloha svěřena táhlům b, zlomila by se.

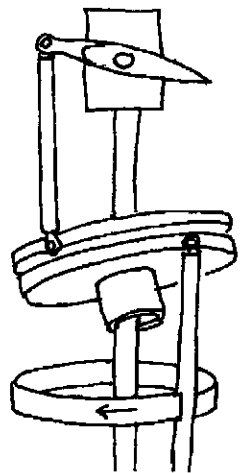
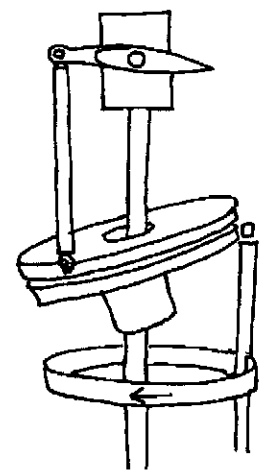
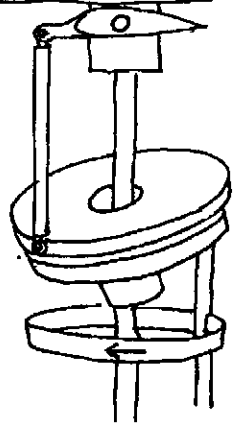


Teď budu muset sestrojít ŘÍDICÍ PÁKY, kterými budu moci ovládat ty tři vertikální tyče.

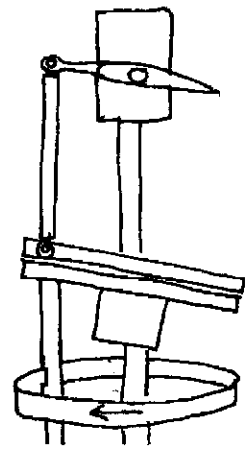
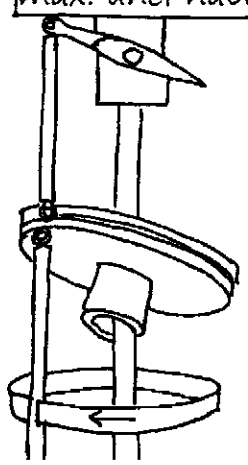
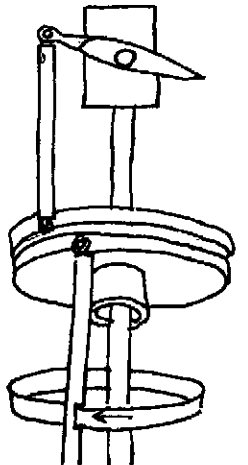


A bude to hotové.

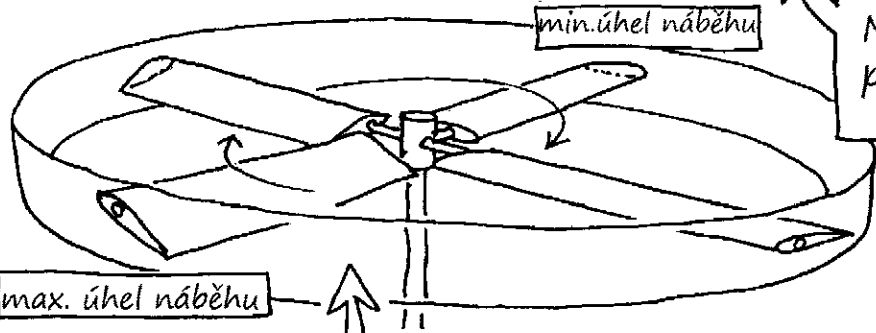
min. úhel náběhu



max. úhel náběhu

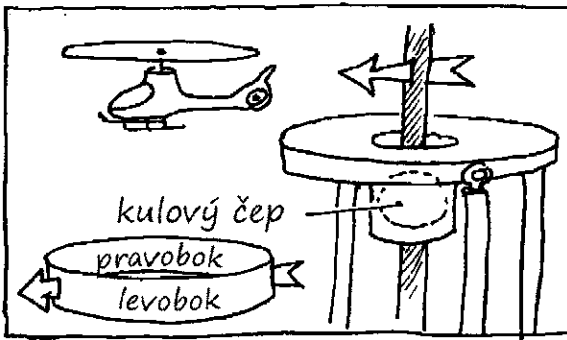


atd...
dole je zdánlivý
pohyb jedné z
řídících tyčí



Nahoře vidíme pohyb listu. Jeho úhel náběhu se pravidelně pohybuje mezi minimální a maximální hodnotou.

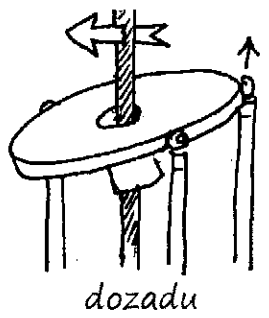
Zde listy zaujmají čtyři různé polohy v otočné rovině.



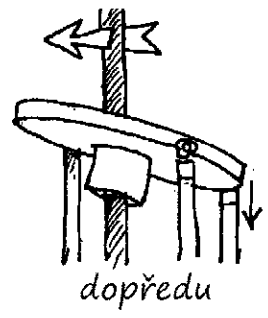
Šipka míří ve směru dopředného pohybu.

Tři tyče stačí ke kontrole polohy neotočného kotouče.

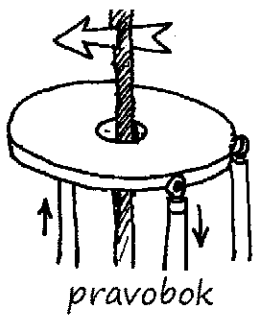
Řízení vrtulníku s narůstajícím úhlem náběhu listu:



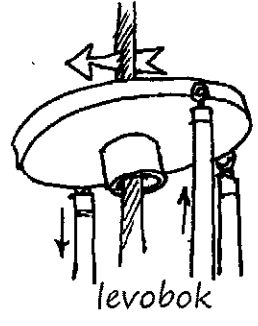
dozadu



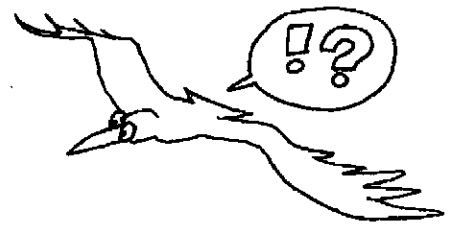
dopředu

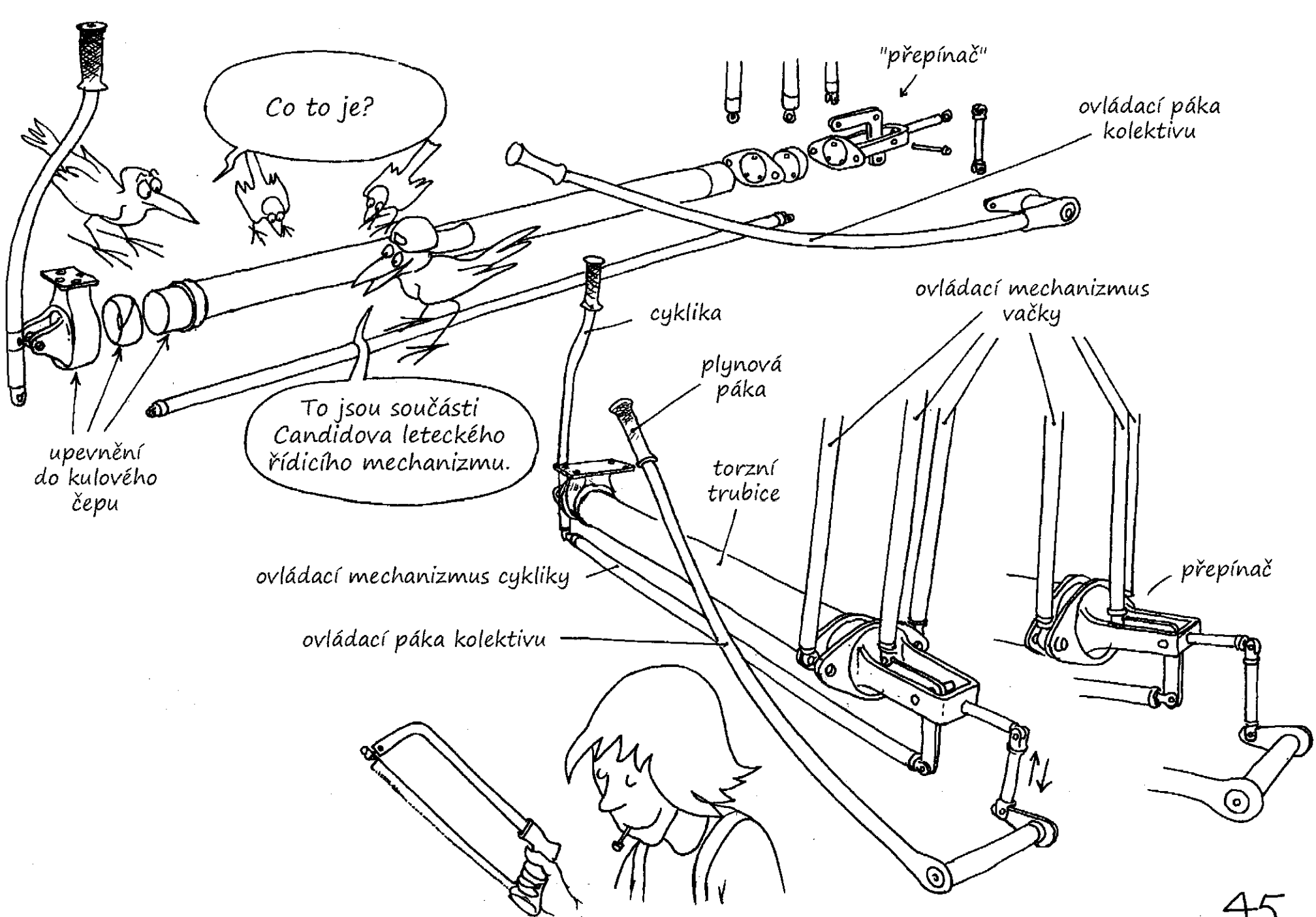


pravobok



levobok





Co to je?

To jsou součásti
Candidova leteckého
řídicího mechanismu.

upevnění
do kulového
čepu

"přepínač"

ovládací páka
kolektiv

cyklika

plynová
páka

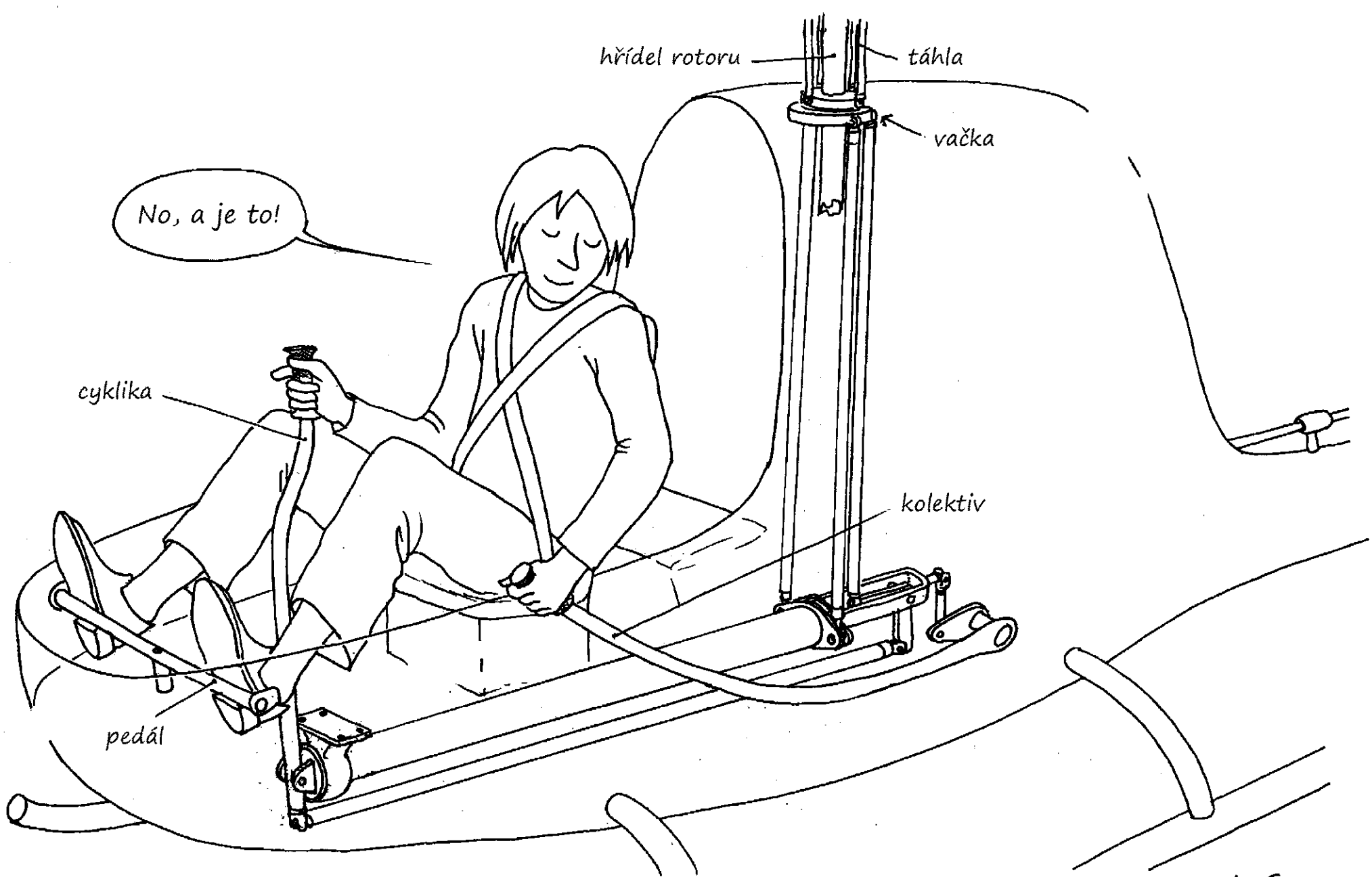
torzní
trubice

ovládací mechanismus
vačky

ovládací mechanismus cyklicky

ovládací páka kolektiv

přepínač



Tentokrát je, Panglossi, vše připraveno. Ihned poletím milostslečnu Kunegundu vysvobodit.

Kupředu!

**PATAKLONK
PATAKLONK
PATAKLONK**

Mistře, to je hrozné. Tak strašně se to klepalo, že jsem myslel, že se ten můj stroj rozpadne snad na tisíc kousků.

Ale to není to nejhorší...

Myslel jsem, že se mi podařilo upotřebit tu nejlepší ze všech možných plynových mechanik.

A co tedy, Candide?

Představte si, mistře, že když jsem pohnul cyklikou dopředu...

Stroj začal bočit doprava.



Hned jsem hnul kniplotem doleva.

A v tom se vzepjal jako splašený kůň.



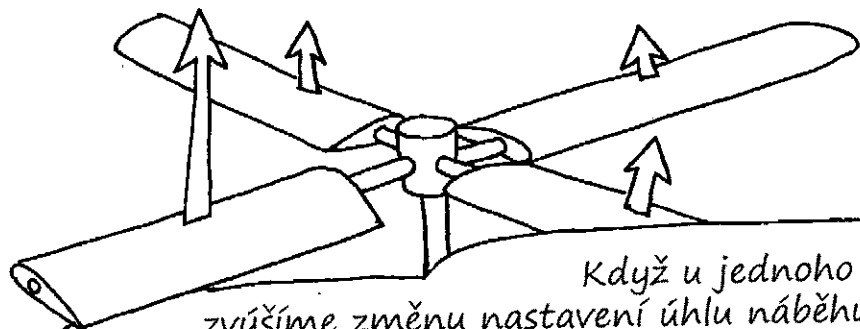
A letěl ...dozadu.

Jakmile jsem se dal do pohybu, nastaly tak hrozné vibrace, že jsem si myslel, že se rotor úplně rozpadne a že přišla má poslední hodinka.

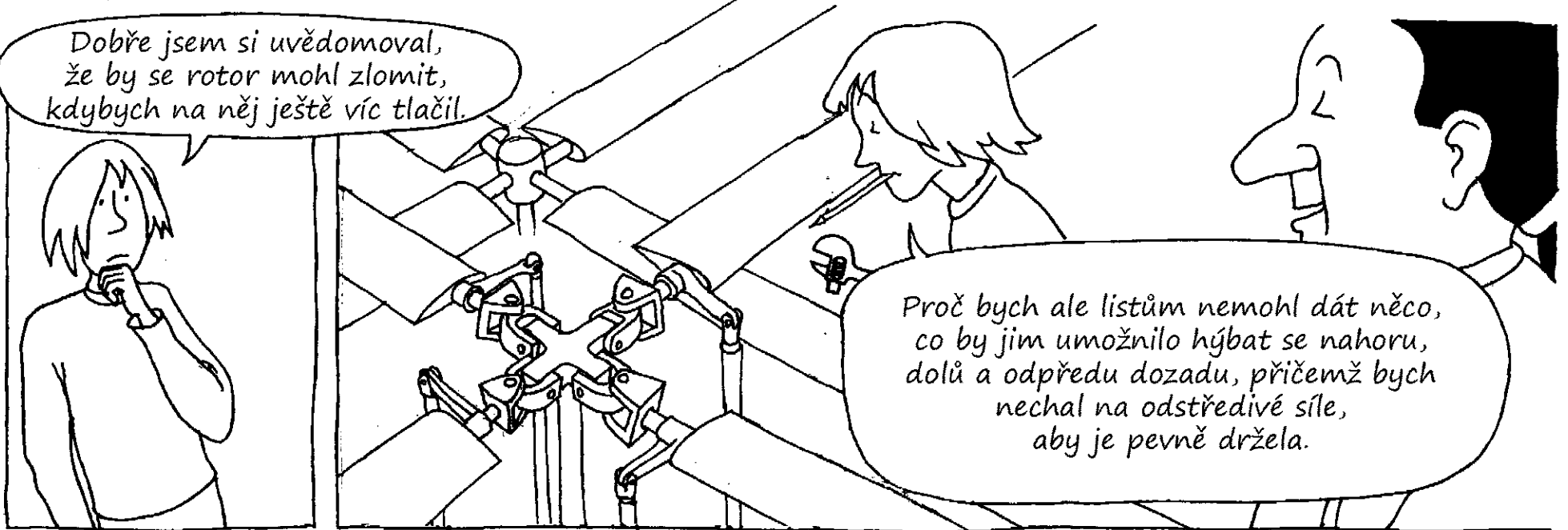


Podívejme se na největšího protivu. To jste si nemohl vzít léky pro zdravý rozum?

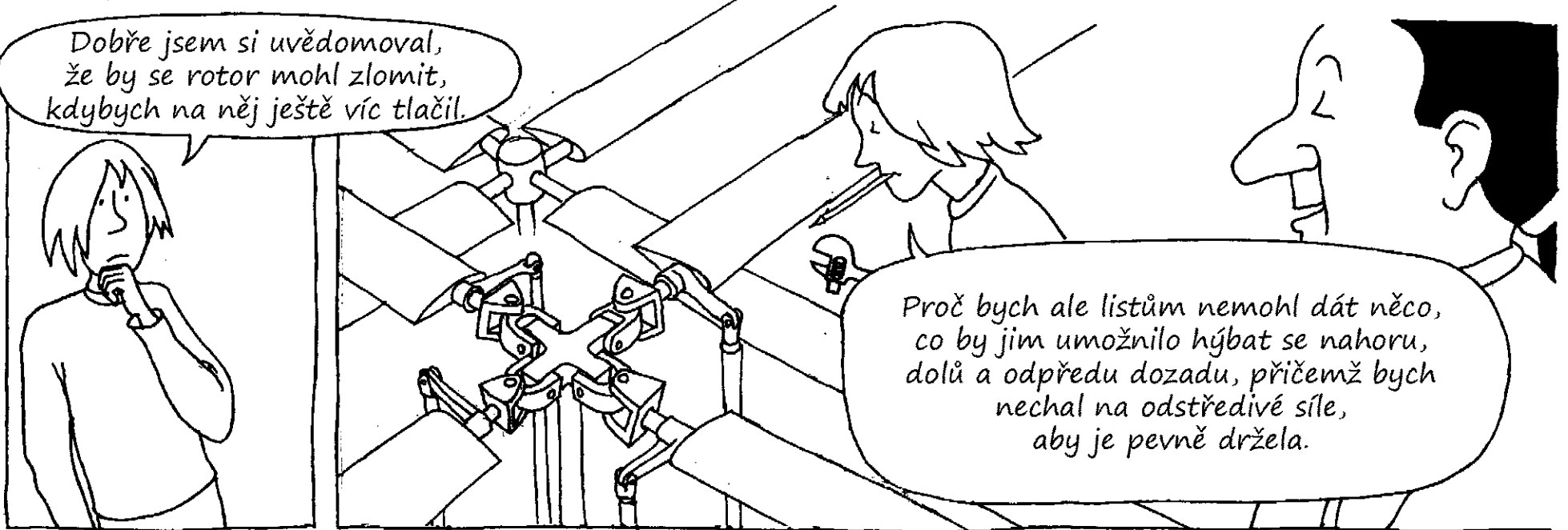
Dobře jsem cítil, jak se stroj začal klepat, jakmile jsem uvedl do chodu cyklické řízení, jímž se změnil nastavení úhlu náběhu. Bylo to, jako kdyby nějaká neviditelná ruka chytla rotor. Ale když se na to podívám zblízka, přijde mi, že možná uhádnu, jaký byl důvod tohoto jevu.



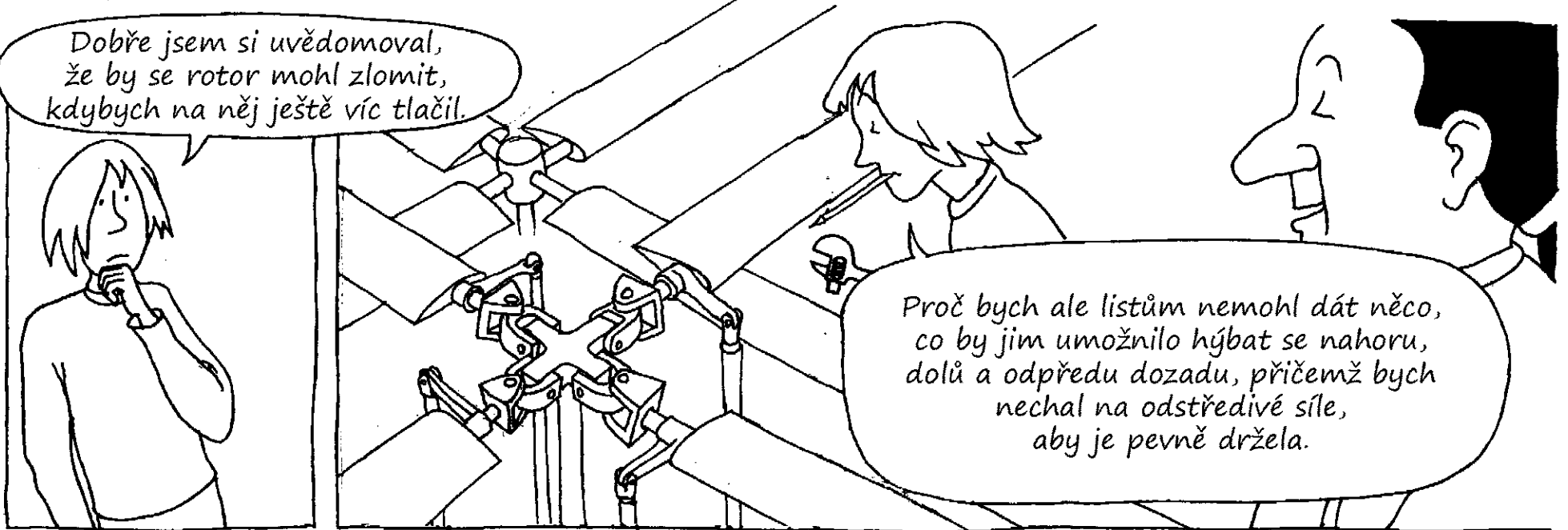
Když u jednoho ze dvou zcela protilehlých listů zvýšíme změnu nastavení úhlu náběhu a u druhého ji zase snížíme, budou se aerodynamické síly odlišovat ve velikosti a směru, což vysvětluje ty hrozné vibrace.



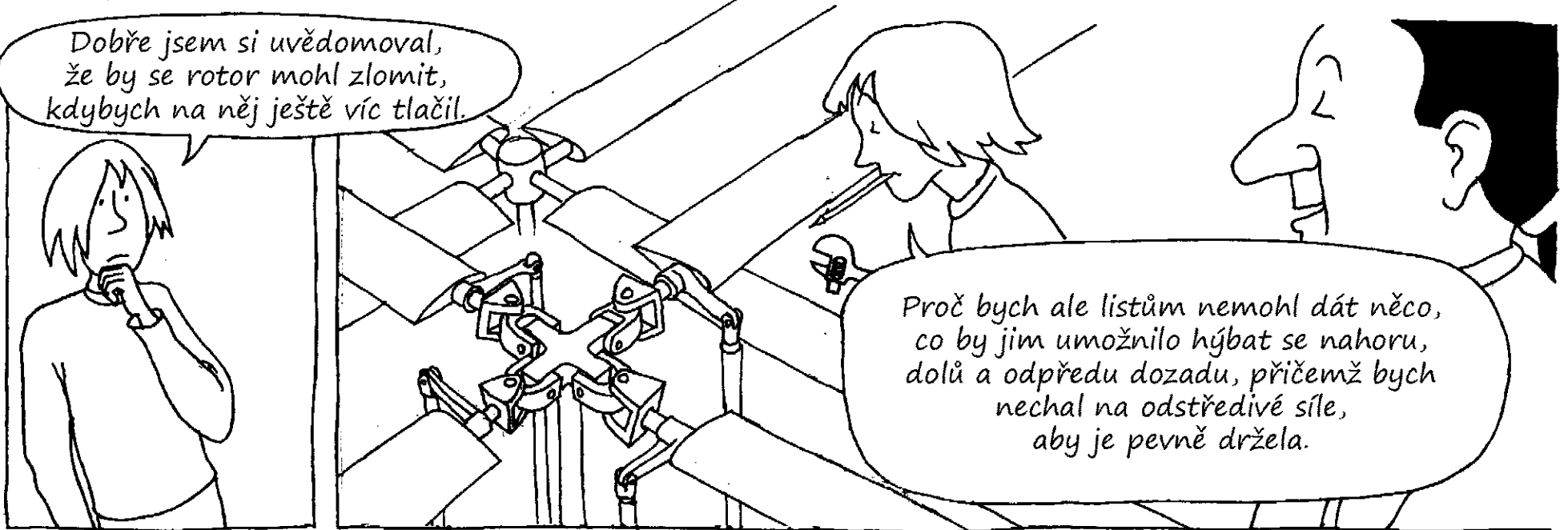
Dobře jsem si uvědomoval,
že by se rotor mohl zlomit,
kdybych na něj ještě víc tlačil.



Proč bych ale listům nemohl dát něco,
co by jim umožnilo hýbat se nahoru,
dolů a odpředu dozadu, přičemž bych
nechal na odstředivé síle,
aby je pevně držela.

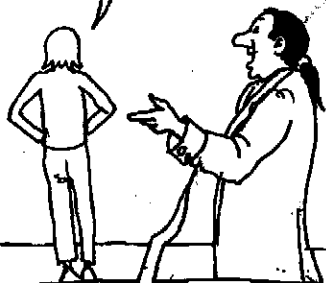


Funguje to, Panglossi, funguje!
Stroj pořád odfrkává, ale
přípustným způsobem. Na druhou
stranu ale zůstává jeho odpověď
na pohyb kniplu pořád
nesrozumitelná. Knipl dopředu:
bočí doprava. Knipl doprava:
zvedne se a letí zpátky. Knipl doleva,
klopí nos a letí dopředu.
Knipl dozadu, bočí doleva.



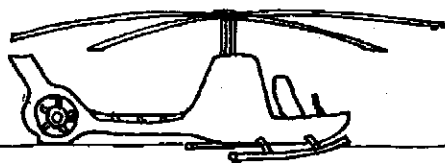
Což znamená, že stroj poslouchá vaše příkazy,
ale účinnost probíhá s pootočením ... o 90°.

Je to nepochopitelné,
ale úplně přesné.



No, ale řešení
máte. Upravte řídicí
páky podle toho!

Nemohl bych si sednout do stroje, jehož chování tak moc uniká
mému chápání, drahý mistře.



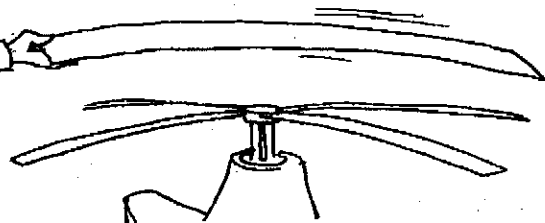
Candide, Candide, kolik věcí nám připadá tak samozřejmých, a přitom
nám jejich podstata zůstává cizí. Vemte si třeba: Slunce se otáčí kolem
Země a my nevíme proč. Stále ještě jsme neodkryli povahu toho hrozného
vzduchoprázdna, kvůli kterému narůstá merkur v barometrech. Dostatečný
důvod, proč tahle temná energie, která způsobuje další zrychlení našeho
vesmíru, nám zůstává cizí. Měli bychom se snad vzdát všech pozorování
a měření těchto jevů, které nám příroda nabízí?



A co láska, Candide, ty něžné city, které
chováte k milostslečně Kunegondě?



Jestli je tahle mechanika letu
ta nejlepší ze všech možných
mechanik letu na světě, jaké
jsou asi ty ostatní ...



CYKLIČKÁ ODCHYLKA

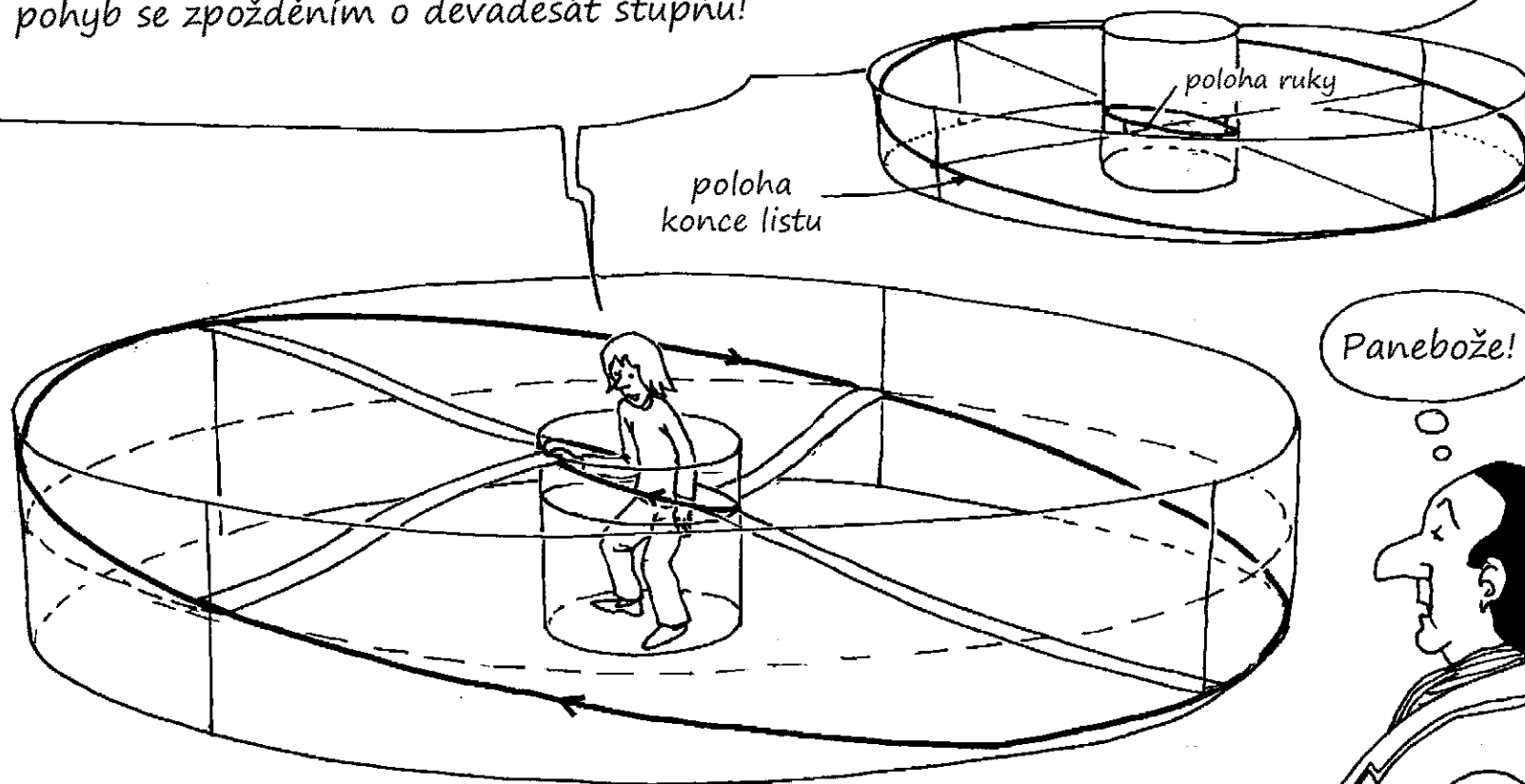
Právě tady si uvědomíte, že mechanika vrtulníku je mnohem složitější než mechanika letadla.

Mávám, mávám ...

Všechna ta věda, všechna ta technika, aby člověk došel k tomuhle pitomému jevu, kterému nerozumím.

Není následku bez příčiny. Musím přijít na dostatečné vysvětlení téhle věci.

Panglossi, myslím, že jsem to pochopil. Mávám listem vrtule nahoru a dolů a přitom se s tím vším točím dokola. Snažím se, aby perioda kmitu, kterou listu ukládám, byla stejná jako perioda rotace, a to v důsledku kombinace jeho setrvačnosti a pružnosti. List sleduje pohyb se zpožděním o devadesát stupňů!



Panebože!

Odborně řečeno, toto představuje
SYSTEM DRUHÉHO ŘÁDU.

Tohle dostatečné zdůvodnění, zdá se, předčilo mé očekávání.

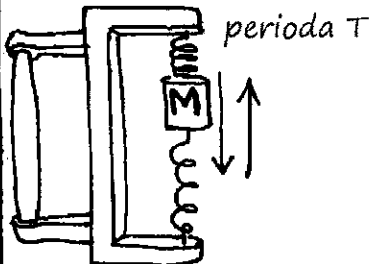
Díky tomuhle přístroji, můj mistře, pochopíte. Říká se mu **ELASTOTRON**.

Nehledejte v něm žádné praktické využití. Slouží pouze k vysvětlení jednotného chování listů vrtule vrtulníku.

Myslel jsem, že mluvíme o mechanice kapalin.

Vysvětlím to: když vytáhnu předmět **M** z jeho rovnovážné pozice, bude kmitat s určitou periodou, kterou nazýváme **VLASTNÍ PERIODOU SYSTÉMU**.

Když stroj namáhám tím, že s ním třesu nahoru a dolů se stejnou periodou **T** předmět **M** "odpoví" na **LEHKOU DOBU**.



Jak se vás týká mechanika kapalin?

Je mi jasné, že musíte plavat jako kámen!

Plavat?

Nech ho být, miláčku. Nebudeme se přít s nějakým takovým tučňákem. Tohle album je už dost složité.

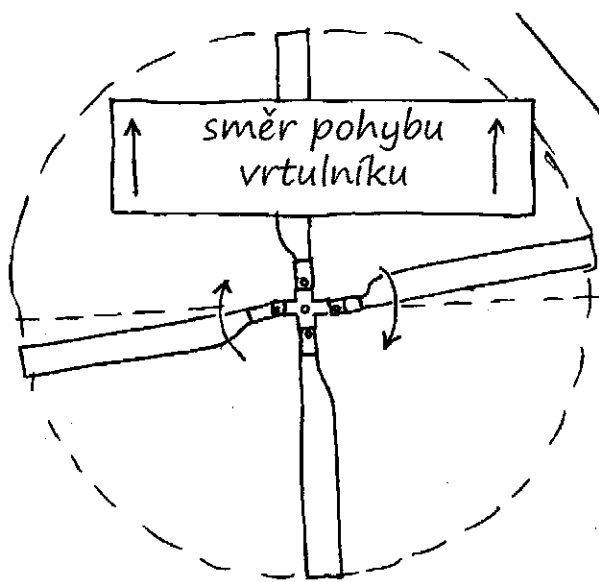
Rám tedy odpovídá také na LEHKOU DOBU.

Uchopte elastotron za předmět M a třeste s ním podle jeho vlastní periody T.

Dobře, držím ho a třesu s ním ... podle jeho vlastní periody T.

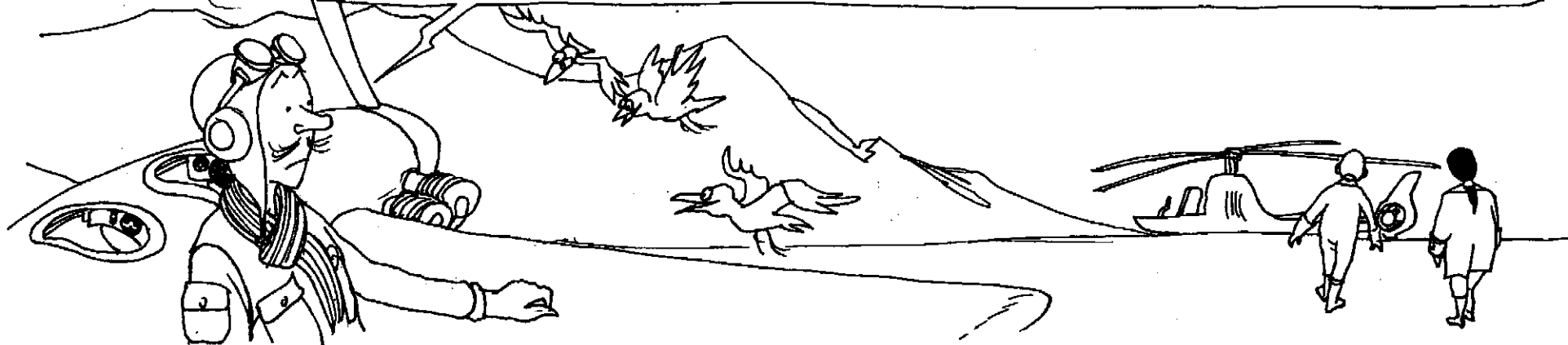
Převed'te to na vrtulník. Před chvílí jsem třásl s listy vrtule FÁZOVĚ a přitom jsem prováděl rotaci. Za letu to jsou listy, které "třesou" se strojem. Proto jsou nezbytné ZÁVĚSY LISTU ROTORU.

Hmm, je mi to jasné ...



Druhým spojením jsou **TLUMIČE VIBRACÍ**, které umožňují listům kmitat a mávat jako zde. Kdyby zde tyto spoje (či pružné spoje) nebyly, byl by vrtulník vystaven hrozným vibracím, přičemž by mohlo dojít k rozpadu rotoru (*).

Že bych měl problémy s odpovědí systému druhého řádu?



(*) Od svých prvních pokusů s **VÍRNÍKEM** musel Španěl **DE LA CIERVA** co nejrychleji zavést systém "závěsů a tlumičů nosného rotoru", aby se nemusel dívat na to, jak se jeho rotor rozpadá.

Říkám si, co asi dělá
Candide. Už je to hezkou
chvílí, co o něm nemáme
žádné zprávy. To mě
znepokojuje.

Říkáš si, co ještě mohl
vymyslet?

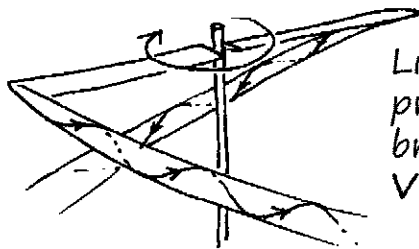
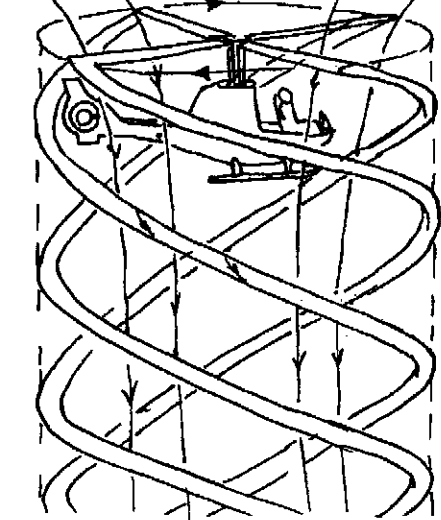
Ten hoch měl vždycky plnou
hlavu podvratných myšlenek.

Dobře, je to
dobrý inženýr.

Ale vůbec se mi nelíbí ty jeho nápady, které
se týkají toho ... mezihvězdného cestování.

Každopádně nikdy si moje dcera nevezme
neurozeného muže, i kdyby byl doktor věd.

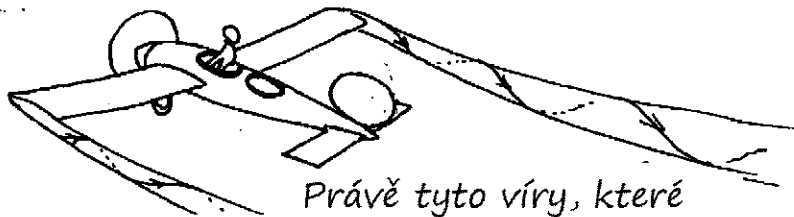
PŘECHOD



Listy vrtule vrtulníku jsou velmi prodloužená křídla, která ve své brázdě zanechávají **OKRAJOVÉ VÍRY**.



Tahle zbytečná turbulence představuje ztrátu energie.



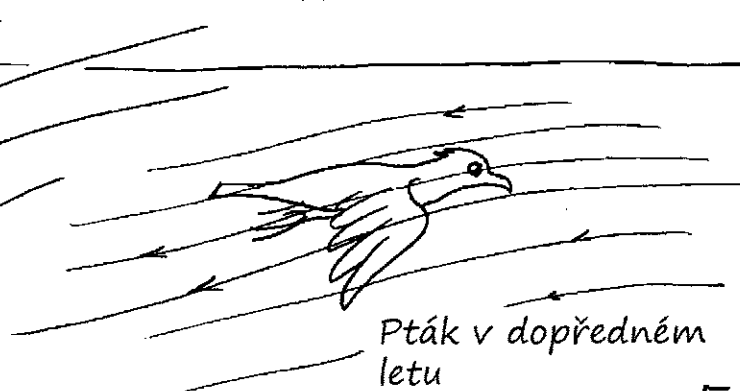
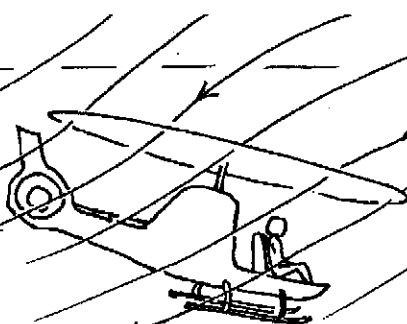
Právě tyto víry, které se tvoří na koncích křídel, způsobují ve vysoké nadmořské výšce kondenzaci vodní páry (kondenzační stopu).

Když se dá vrtulník do dopředného letu, proudění se úplně změní. Víry ztratí svou sílu a následkem toho se může stroj udržet ve vzduchu i za cenu nejmenších výdajů energie.

Ředitelství



Pták za stabilního letu: silná turbulence



Pták v dopředném letu

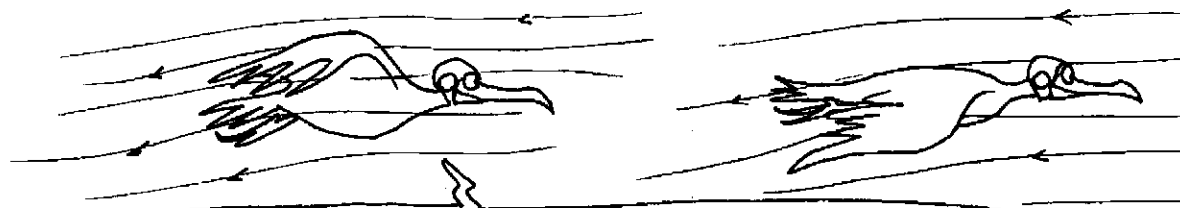
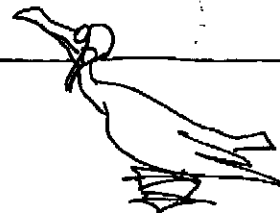
Přiznám se, že téhle povídačce o
PŘECHODU vůbec nerozumím.



A přitom je to úplně
jednoduché. Podívej se, jak
vzlétáme.



Abychom se udrželi ve stabilním
letu, vydáváme energii tím,
že tvoříme turbulenci.



Při dopředném letu vzduch proudí s méně turbulencemi
mezi pery. Ženeme vzduch pořád směrem dolů, ale
s menším výdajem energie.

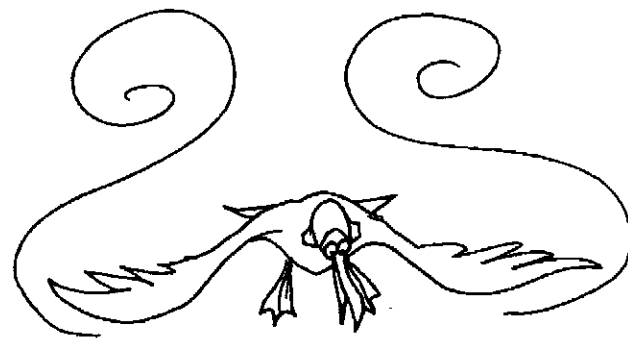
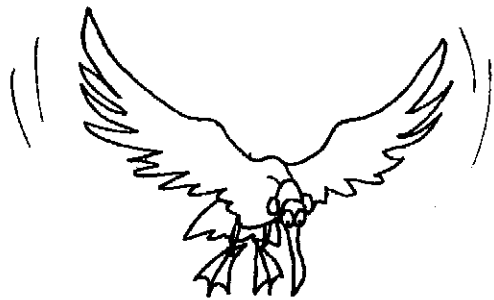
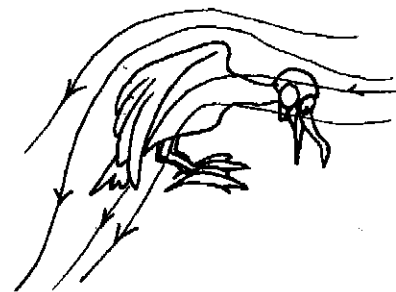
A při opačném pohybu?



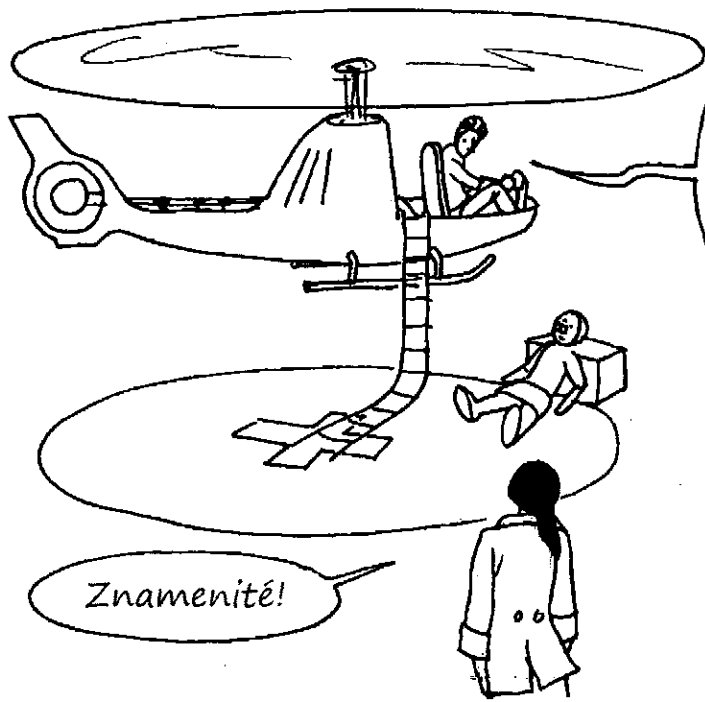
To není těžké. Vidiš dole něco zajímavého, třeba rybu ...



Vzepneš se, abys zastavil rychlost a ve vzduchu znehybniš.



A v tu chvíli se vrátíš do režimu stabilního letu, přičemž uděláš silnou turbulenci, a tím pádem také vydáš mnohem víc energie.




Panglossi, teď jsem dobře připravený. Tenhle stroj je perfektně stabilní a ovladatelný. Hned jak Kunegonda nastoupí, odletím co nejrychleji, abychom se dostali pryč z dostřelu baronových lučištníků.

Znamenitě!

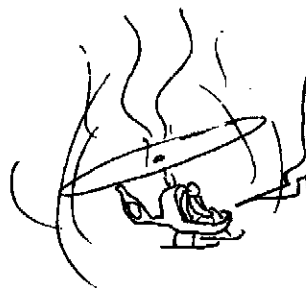
Budu se muset přiblížit dost vysoko. Lidé se nikdy nedívají, co se děje ve vzduchu. A pak rychle sestoupím na ochoz.





Panebože, je to úplně nestabilní!

Navíc to vibruje.



Mám pocit, že vrtulník se opírá o nějakou beztvarou, naprosto nestabilní masu. Musím se z toho co nejrychleji dostat pryč. Rozhodně, okamžitý vertikální sestup, vůbec to není dobré!

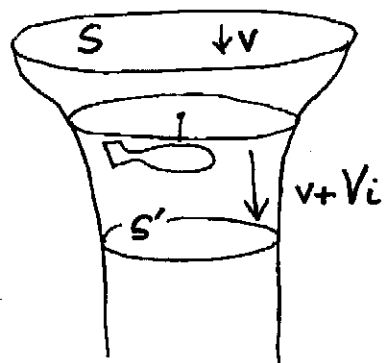
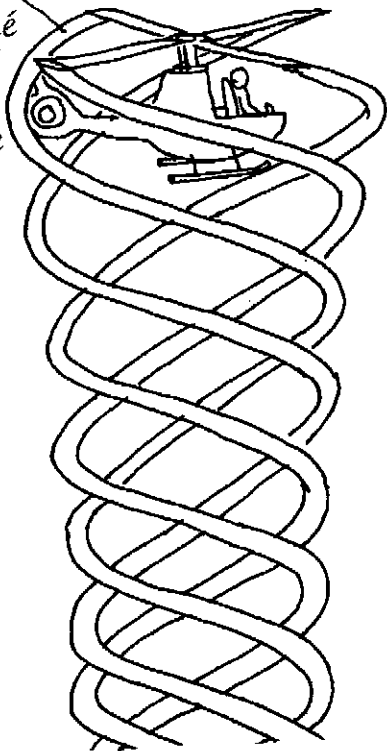


Minul jsem cíl, Panglossi. Úplné vertikální přiblížení není možné.

INDUKOVANÁ RYCHLOST

víry
tvořené
konci
listů
vrtule

6m/s



$$\rho v S = \rho (v + V_i) S' (*)$$

Skutečnost, že se vrtulník udržuje "mícháním vzduchu směrem dolů", s sebou nese i předání **INDUKOVANÉ RYCHLOSTI** V_i , která dosahuje řádově 6 metrů za sekundu. Kdyby z konců listů vrtule vycházel kouř, uviděli bychom daný jev zhmotněný.

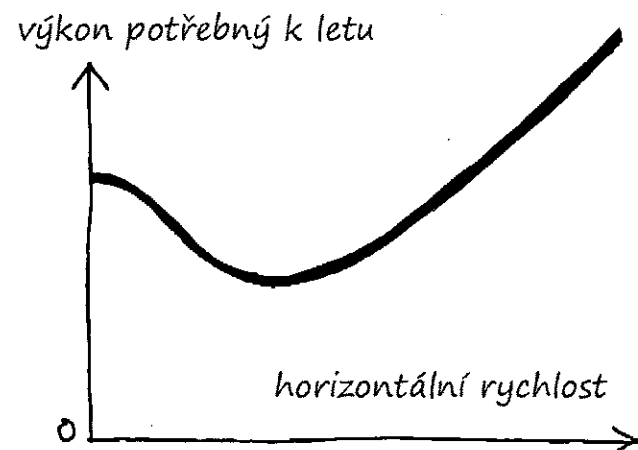
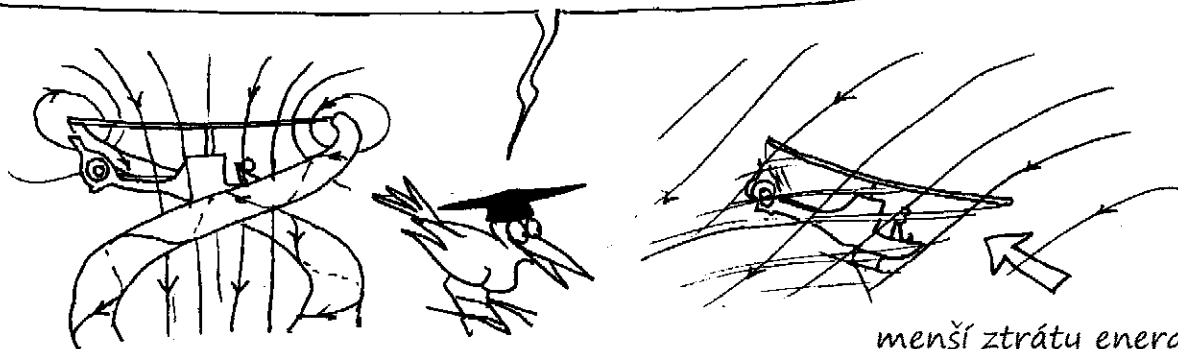


okrajový vír

Letadlo také létá tak, že "lapá vzduch směrem dolů", i když je daný účinek indukované rychlosti méně zjevný.

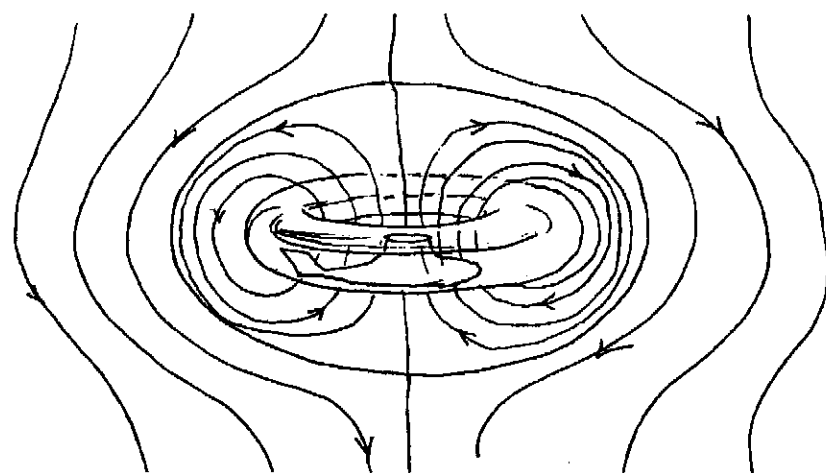
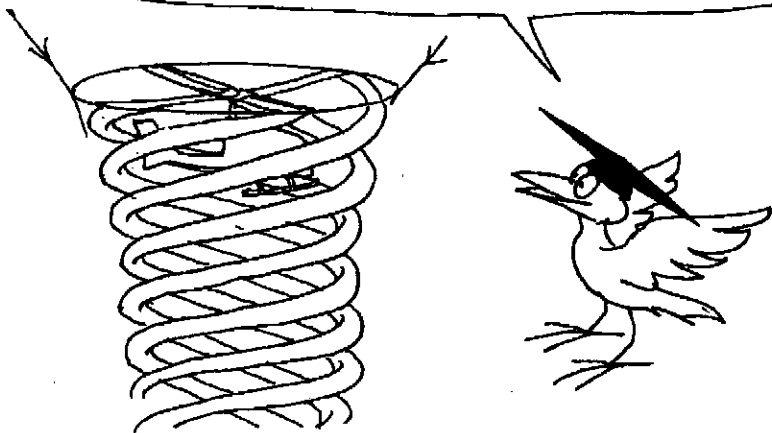
(*) Tento vztah vyjadřuje zachování proudu vzduchu s neměnnou měrnou hmotností ρ , a to s sebou nese i fakt, že úsek S' je menší než úsek S .

Všechno, co je **VÍŘIVÉ**, představuje ztrátu energie.
 Dopředný let se staví proti ustanovení vířivého režimu. Tento způsob, jak se udržet v konstantní výšce, je tedy méně náročný na spotřebu energie.



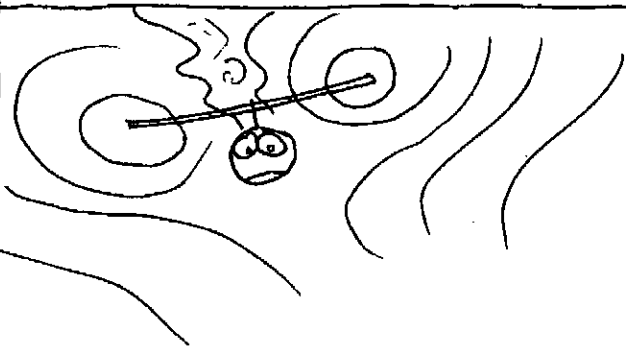
menší ztráty energie spjaté s vířením na konci listů vrtule

Když vrtulník zahájí vertikální sestup, okrajové víry na sebe začnou vzájemně působit, jakmile vertikální rychlost dosáhne $\frac{1}{4}V_i$.

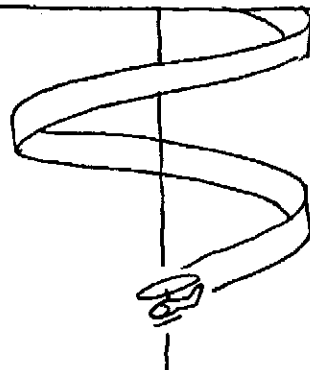


Jakmile rychlost klesání dosáhne hodnoty tři čtvrtin indukované rychlosti V_i , vytvoří se víry, přičemž dají vzniknout silnému torickému **VÍRU**.

Každý list vrtule přebírá štafetu okrajového víru od předešlého listu a zesílí ho. Ztráty narůstají. Navíc je tato aerodynamická geometrie velmi nestabilní.



K místu přistání budou piloti raději sestupovat spirálovitě, přičemž si budou stále udržovat režim dopředného letu.



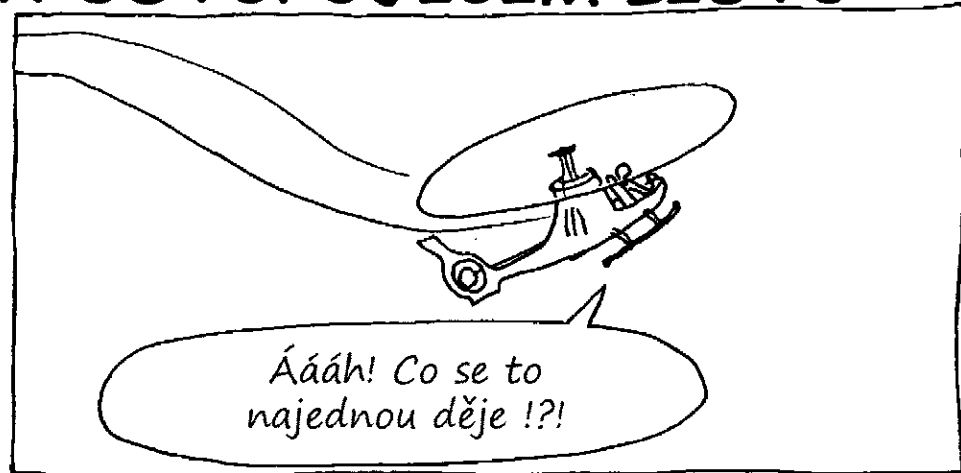
Ponaučení = horizontálním letem se přiblížím k vršku věže.
V poslední chvíli přeruším svou rychlost, přeju do stabilního letu
a provedu poslední sestup s vertikální zmírněnou rychlostí, řekněme
asi tak jeden metr za sekundu.



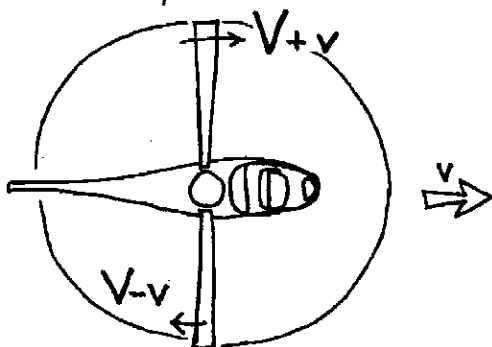
Abych se vyhnul nebezpečnému
přeletu ve **VÍŘIVÉM REŽIMU**.

A teď se pustíme do
našeho pokusu za letu.

ODTRŽENÍ PROUDĚNÍ NA USTUPUJÍCÍM LISTU

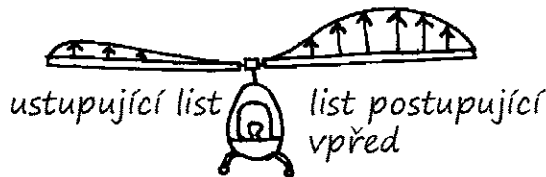


list postupující vpřed

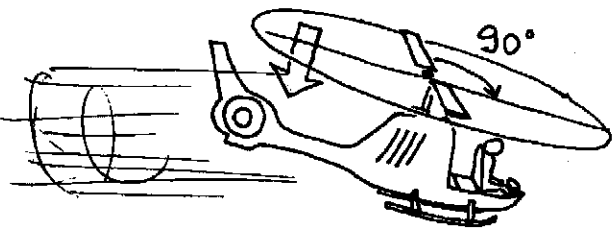


ustupující list

V je obvodová rychlost listu vrtule. v je rychlost letu vrtulníku. **RELATIVNÍ VÍTR**, jemuž podléhá **LIST VRTULE POSTUPUJÍCÍ VPŘED**, je $v+v$. Vítr, jemuž podléhá **USTUPUJÍCÍ LIST VRTULE**, je $v-v$. Tlakové síly, které působí na oba listy, jsou tedy odlišné.

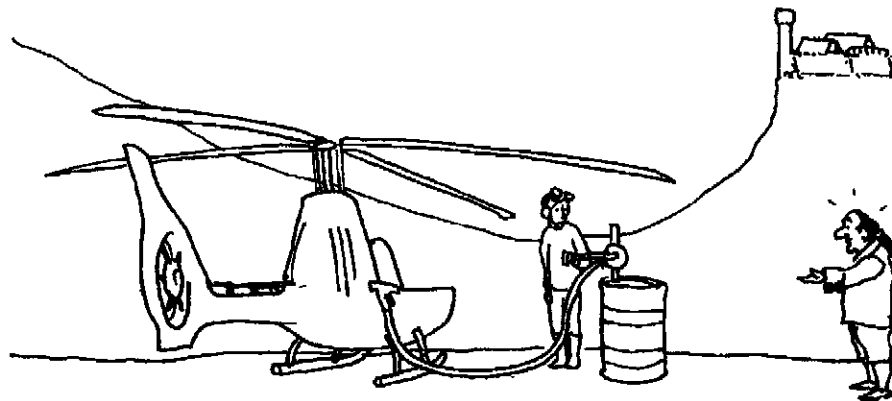


Mohli bychom si myslet, že při velké rychlosti bude mít vrtulník tendenci se kývat. Ale v důsledku zpoždění reakce stroje o 90° , se ho to snaží zvedat.




Směr rotace rotorů se odlišují podle jednotlivých zemí. Francouzské vrtulníky mají list postupující vpřed vlevo, zatímco americké stroje ho mají vpravo. Ale to nic nemění na tom, co zde již bylo řečeno.

Ředitelství

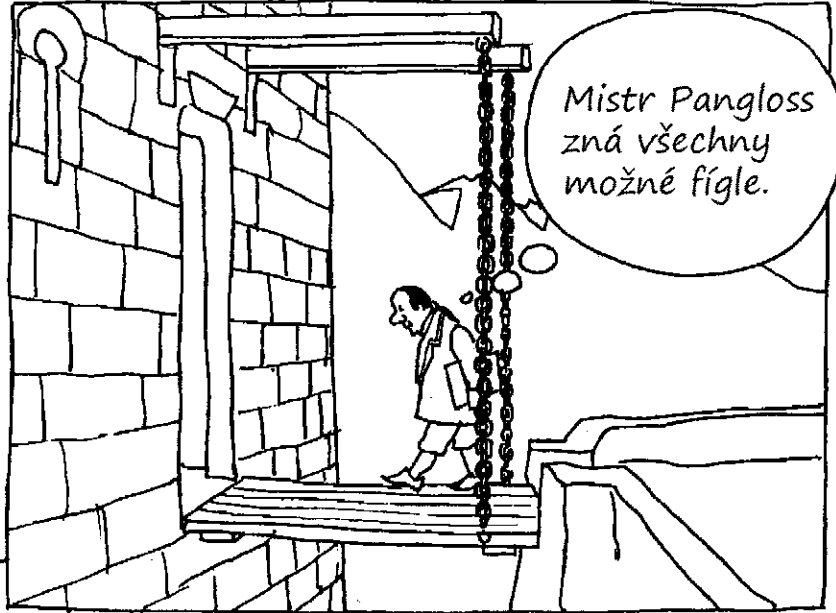


Candide, myslím na jednu věc. Pan baron úspěšně ignoruje všechny vaše projekty. Ale milostslečna Kunegonda zrovna tak. Kde berete tu jistotu, že bude na ochozu věže ve chvíli, kdy nad něj nadletíte?




Máte pravdu, mistře Panglossi, ale co můžu dělat?

Jsem na dnešní večer pozván na hrad na večeři. Najdu způsob, jak jí dát vědět předem.



Mistr Pangloss zná všechny možné figle.

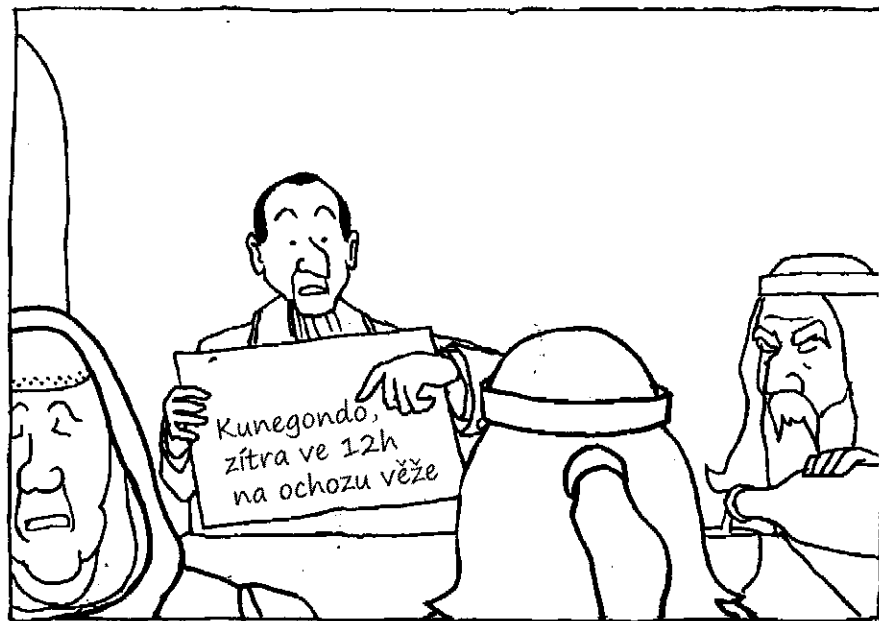


Ach, mistře Panglossi, neřekl byste nám nějaký pěkný příběh, plný filosofie a moudrosti který by co nejvíce prospěl naší ztřeštěné dceři?

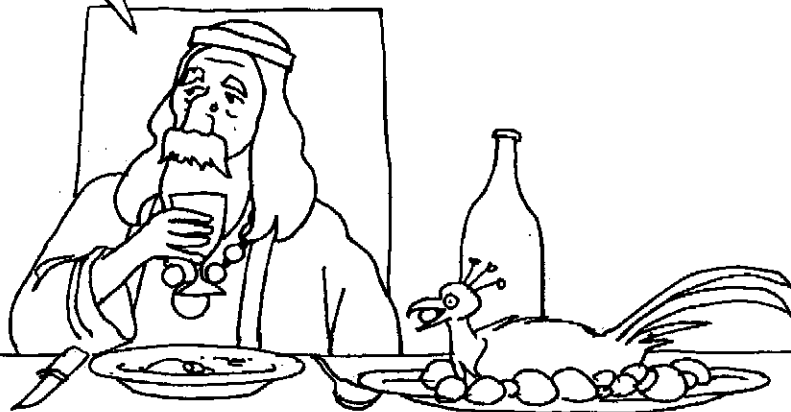
Ach, ano, mistře, vašich filosofických příběhů si zde velmi ceníme.


Bylo jednou ...

... a tak tedy princ, v hodině, kdy na kostele odbíjelo dvanáct, nasedl na svůj létající koberec a odletěl vysvobodit princeznu, která jej čekala nahore v té nejvyšší věži hradu.



To byl krásný příběh, Panglossi, i když jsem asi nepochytil ... ehm ... všechny filosofické myšlenky.

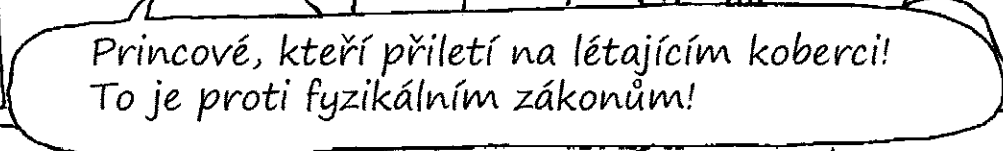




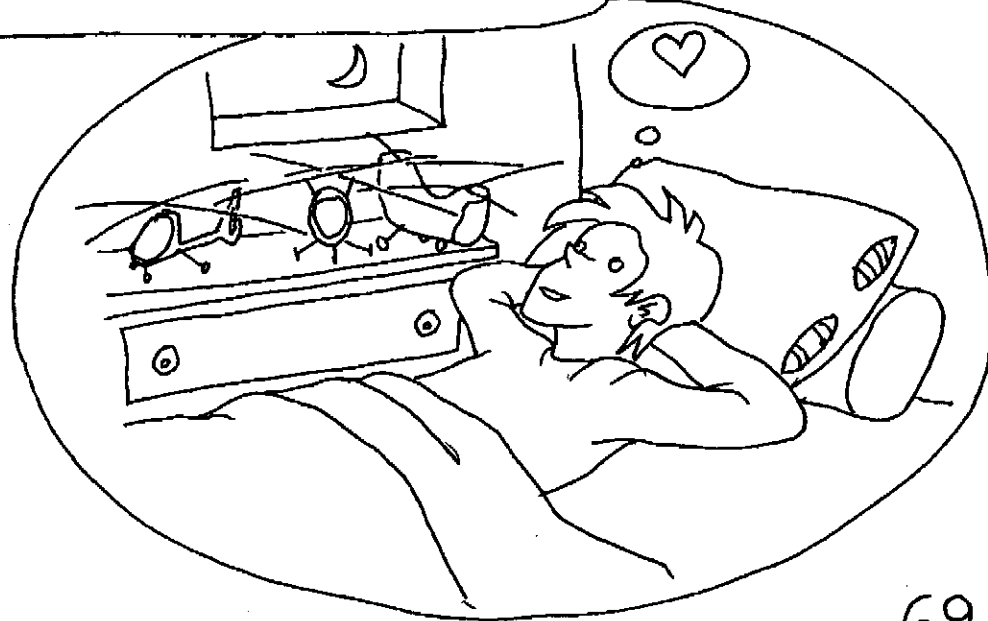
Takovéhle historky jsou jen v pohádkách. Nebo se musí věřit na Ježíška.

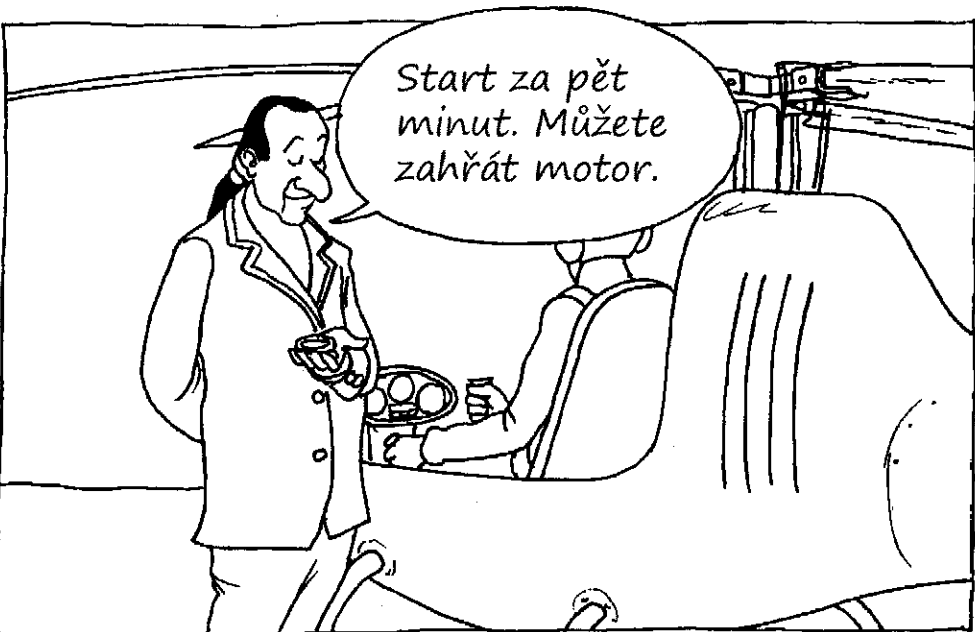


Tenhle Pangloss je občas trochu snílek.




Princové, kteří přiletí na létajícím koberci!
To je proti fyzikálním zákonům!





Start za pět minut. Můžete zahřát motor.



Pangloss, napsal v poledne. Hodiny začínají odbíjet. Musím jít nahoru na ochoz.

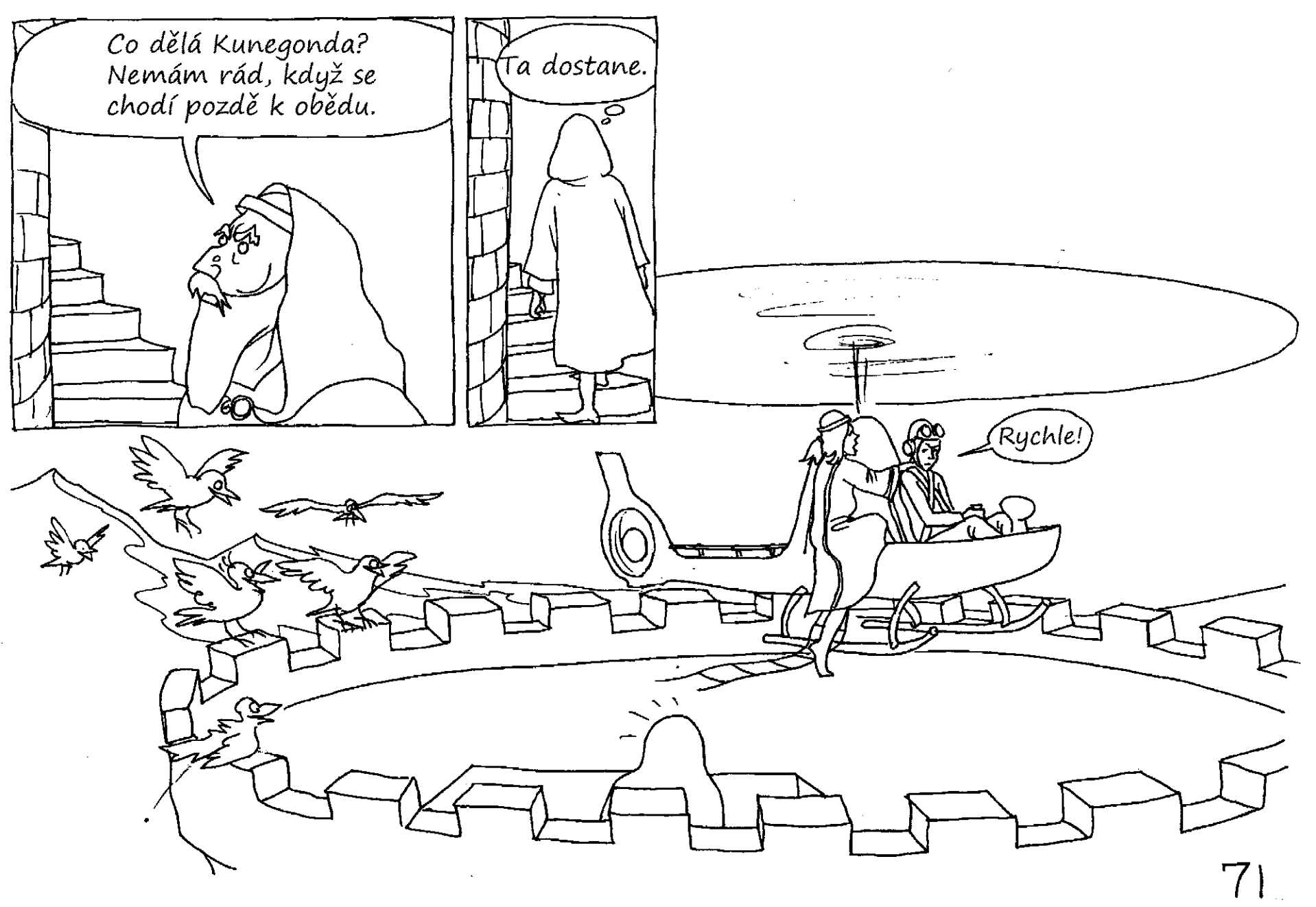


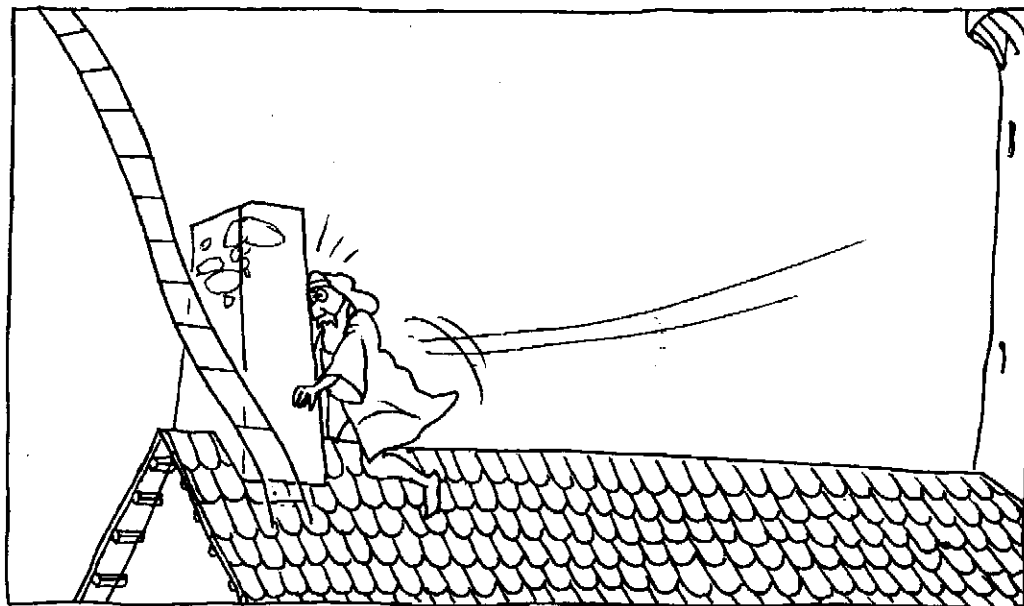
Je tam !!!

Co dělá Kunegonda?
Nemám rád, když se
chodí pozdě k obědu.

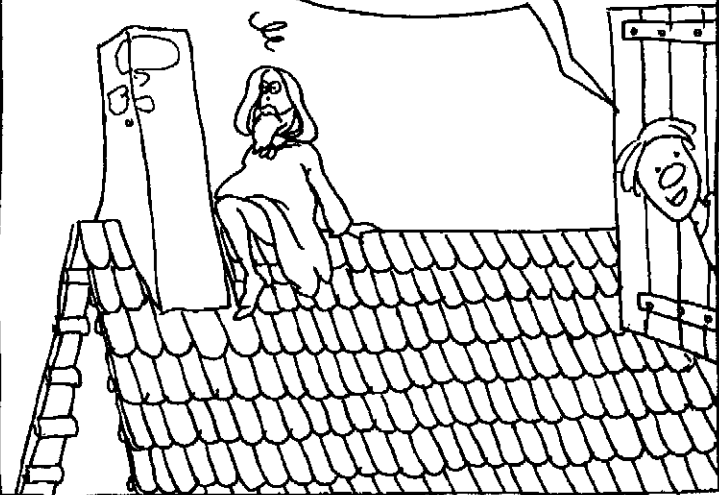
Ta dostane.

Rychle!



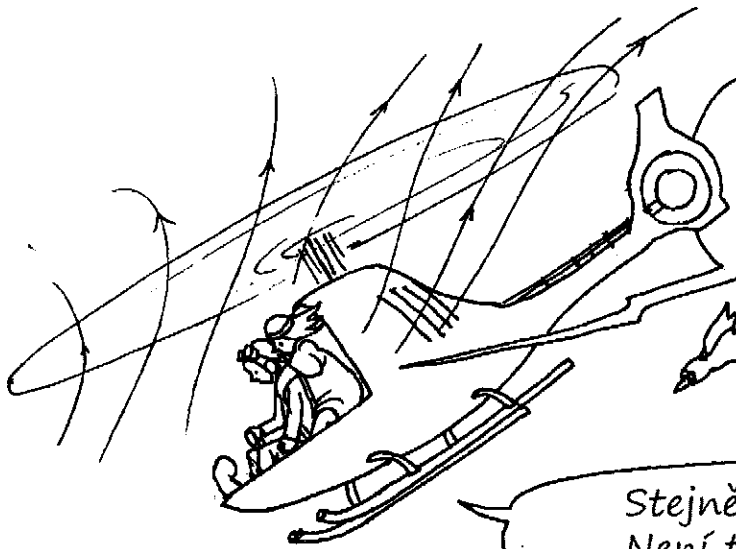


Podívej, mami,
Ježíšek!



Zatraceně! Problém v motoru. Musím za každou cenu udržet režim rotoru, otáčky a rychlost. Musím dát kolektiv na minimum.





A je to tady. Vzduch proudí opačně, zezdola nahoru. Dostali jsme se do režimu **AUTOROTACE**. Z mého vrtulníku se stal vírník. Podíl hybné síly, autorotace rotoru táhnou zbytek.

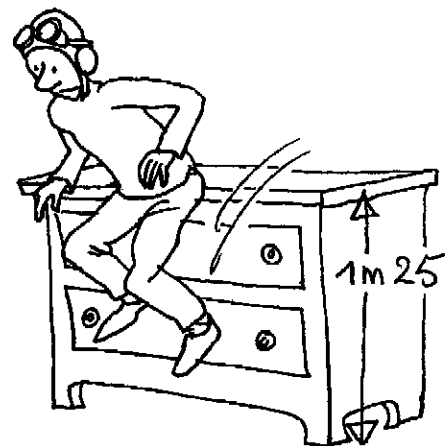
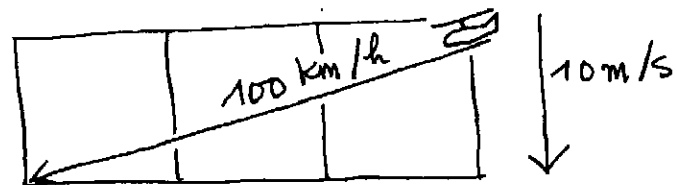
Takže vrtulník může ... plachtit?

Už to tak bude.

Stejně klesáme zatraceně rychle: 10 m/s. Není to jako kámen, ale skoro.

V režimu autorotace dosahuje vrtulník rychlosti 100 km/h, což odpovídá **KLOUZAVOSTI 3**. Při vertikální autorotaci by pádová rychlost byla 20 m/s a dopad při této rychlosti by byl pro pasažéry smrtelný. Pro lepší pochopení, člověk snese dopad při rychlosti 5 m/s, což odpovídá skoku z komody (*). Dopad při 10 m/s odpovídá skoku z pěti-metrové výšky.

Ředitelství

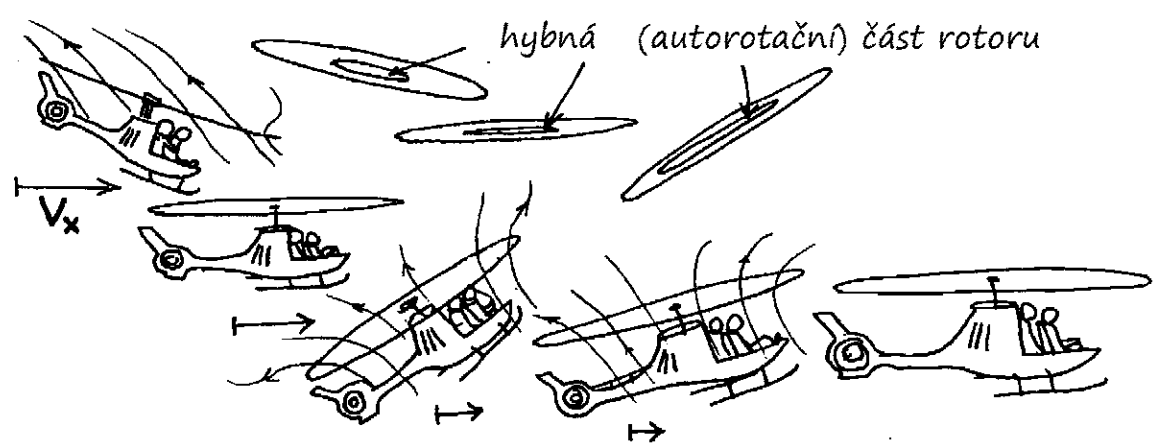


Dopad v 5 m/s

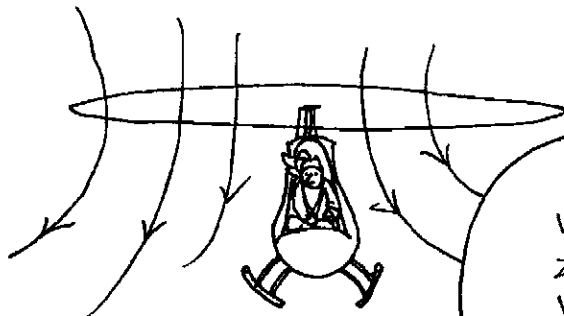
$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z} \text{ (metrů)}$$

PARAZITNÍ ODLESK

Je třeba rychle udělat v posledním momentu nějaký manévr.



V desetimetrové výšce Candide směle přitahuje knipl, přičemž drží kolektiv na minimu. Stroj se zvedá a listy vrtule podléhají úhlu náběhu silnějšího relativního větru, což zesiluje část rotoru, která je "hybná" autorotační. Takto přemění kinetickou energii dopředného pohybu $\frac{1}{2} MVx^2$ na rotační energii. Pak knipl odtáhne od sebe.



Zatáhne za páku kolektiv. Proud vzduchu se obrátí. Rotor tedy přejde z režimu "vírničku" na režim "vrtulníku". Využije vlivu blízkosti země a použije rotorem nahromaděnou kinetickou energii (*).



(*). Tenhle manévr dokonale spotřebovává adrenalin.

Pane ...

Jeho veličenstvu se velmi líbila vaše
znamenitá ukázka letu na palubě
vášeho létacího krahujce.

Mého čeho?

Ááh, tady jsi, ty bídný, mrzký poddaný!
Skončíš své dny v mém žaláři!

Och, sire, vůbec jsem vás nepoznal. Tenhle
holobrádek si chce vzít mou dceru, ale nemá
ani jedno pole na šlechtickém erbu, aby o to
mohl žádat.

Co je to
za rozruch?

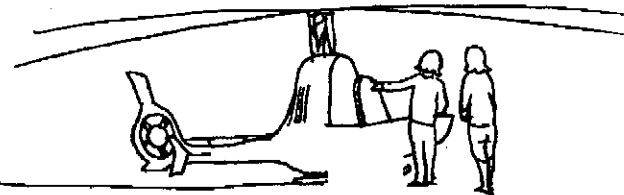
Jak je ten baron otravný. Jednou se objeví něco zábavného a hned chce dát vynálezce za katra. Urovnáme to. Krabatče, podejte mi, prosím, můj meč.



Poklekněte mladý muži. Jmenuji vás markýzem helikolandu. Navíc se stanete i mým ministrem přepravy všeho druhu.



Markýz, to je mnohem lepší než baron. Takže nás už teď otče, necháš chvílku být.



Vidíte, milý *Candide*, že všechno je k něčemu dobré v nejlepším z možných světů. Neboť, kdybyste nebyl vyhozen ze vrat hradu pana barona velkým kopancem do vašeho pozadí, nikdy byste nevynalezl vrtulník.



Velký dík *Pascalu Chrétiensovi* za jeho cenné technické rady.