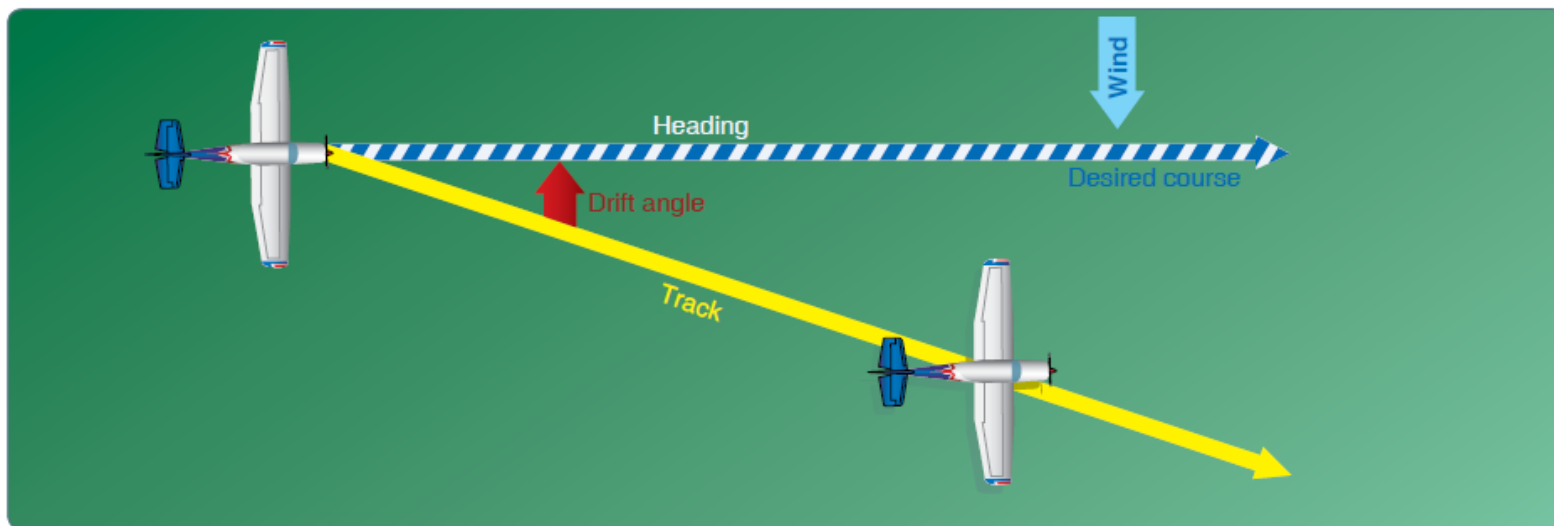




Obecná Navigace Výpočty

Petr Papica

Navigační trojúhelník – úkol

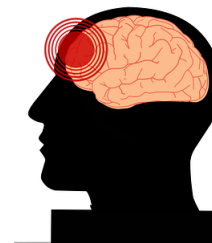
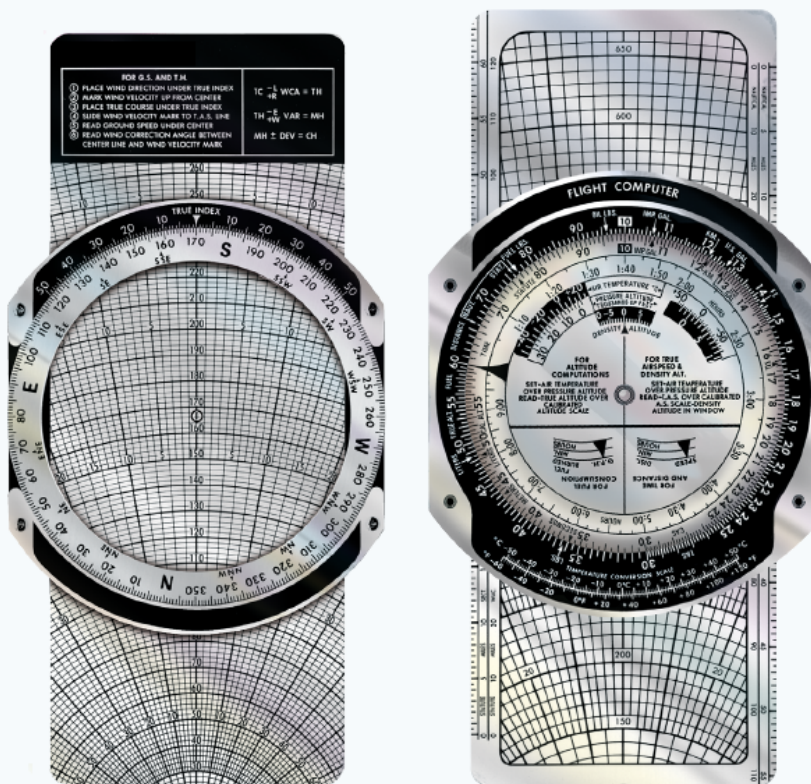
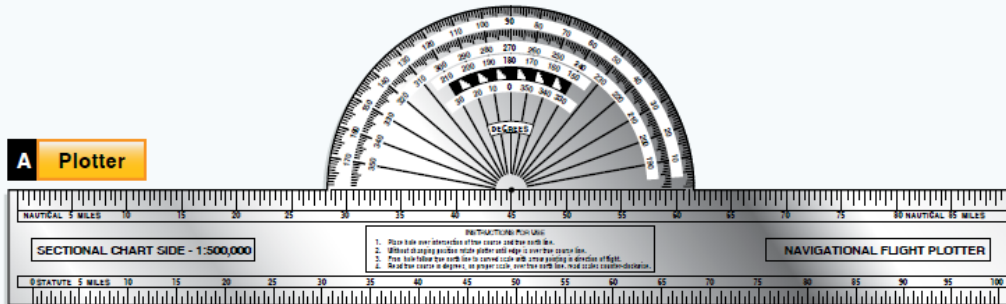


70. Je dáno: Traťová rychlost (GS): 160 kt. Zeměpisná trať (TC): 177° .
vítr (W/WS): $140^\circ/20$ kt. Zeměpisný kurz (TH) je jaký?

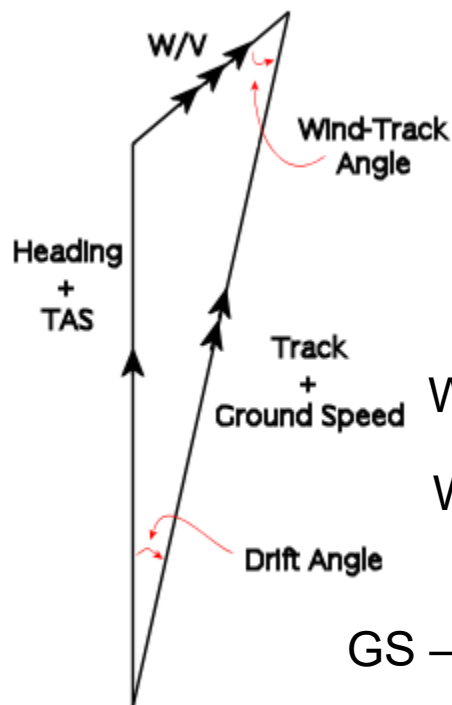
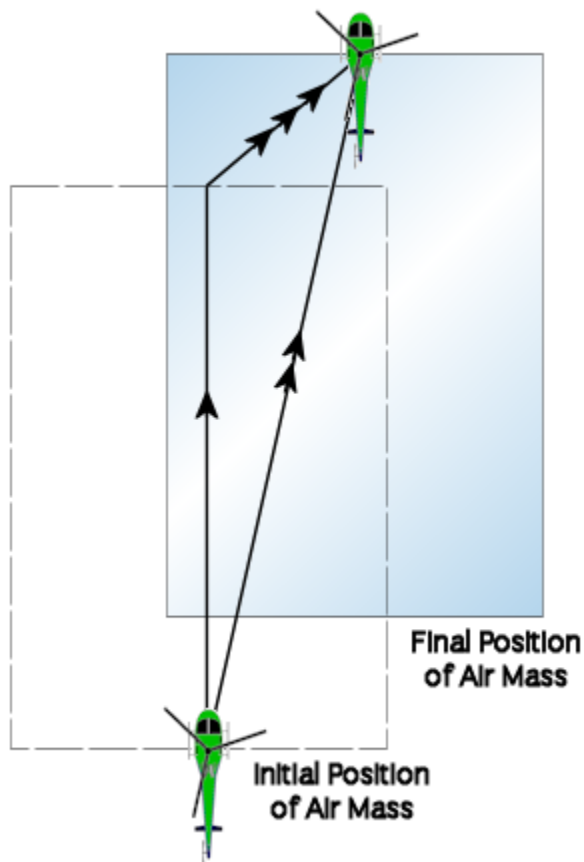
71. Letadlo letí po zeměpisné trati (TC) 220° konstantní pravou
vzdušnou rychlostí 220 kt. Vítr je $270^\circ/50$ kt. Traťová rychlost je jaká?



Navigační trojúhelník – metody řešení



Navigační trojúhelník



Ws - wind speed - rychlost větru

Wd - wind direction - směr větru

GS – ground speed – traťová rychlost

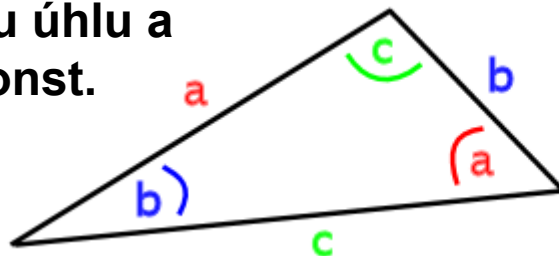
TR - track – traťový úhel

TAS – true air speed – pravá vzdušná rychlost

HDG – heading – kurz letu

Navigační trojúhelník – 1. početní řešení

Sinova věta – poměr sinu úhlu a protilehlé strany je konst.



$$\frac{a}{\sin a} = \frac{b}{\sin b} = \frac{c}{\sin c}$$

Pomocí sinové věty řešíme úhel snosu a traťový úhel

$$HDG = TR + \arcsin\left(\frac{Ws \cdot \sin(Wd - TR)}{TAS}\right)$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{Ws \cdot \sin(Wd - TR)}{TAS}\right)$$

Ws - wind speed - rychlost větru

Wd - wind direction - směr větru

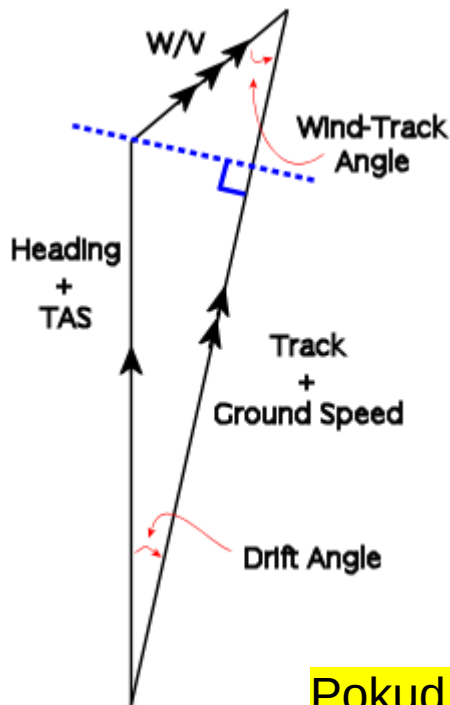
GS – ground speed – traťová rychlost

TR - track – traťový úhel

TAS – true air speed – pravá vzdušná rychlost

HDG – heading – kurz letu

Navigační trojúhelník – 1. početní řešení



Pomocí fce kosinus vypočítáme vliv větru na rychlost vůči zemi

$$GS = TAS \cdot \cos(HDG - TR) + Ws \cdot \cos(Wd - TR)$$

$$GS = TAS \cdot \cos(\delta) + Ws \cdot \cos(\varepsilon)$$

δ – drift angle – úhel snosu větrem

ε – wind track angle – úhel větru na trať

Pokud fouká vítr proti trati, pak:

$$GS = TAS \cdot \cos(HDG - TR) - Ws \cdot \cos(Wd - TR)$$



Navigační trojúhelník – 1. početní řešení

Řešme příklad:

- Vítr fouká z 90° a má rychlost 16 kt
- Chceme letět kurzem 135°
- Moje pravá vzdušná rychlost je 70 kt
- Jaký je kurz letu *HDG* a traťová rychlost *GS*?

$$HDG = TR + \arcsin\left(\frac{Ws \cdot \sin(Wd - TR)}{TAS}\right)$$

$$HDG = 135^\circ + \arcsin\left(\frac{16 \text{ kt} \cdot \sin(90^\circ - 135^\circ)}{70 \text{ kt}}\right) = 135^\circ + \arcsin(0.229 \cdot \sin(-45^\circ))$$

$$HDG = 135^\circ + \arcsin(0.229 \cdot -0.707) = 135^\circ - 9.3^\circ = 125.7^\circ$$

$$GS = TAS \cdot \cos(HDG - TR) + Ws \cdot \cos(Wd - TR)$$

$$GS = 70 \text{ kt} \cdot \cos(125.7^\circ - 135^\circ) + 16 \text{ kt} \cdot \cos(90^\circ - 135^\circ) = 70 \text{ kt} \cdot \cos(-9.3^\circ) + 16 \text{ kt} \cdot \cos(-45^\circ)$$

$$GS = 70 \text{ kt} \cdot 0.987 - 16 \text{ kt} \cdot 0.7071 = (69.1 - 11.31) \text{ kt} = 57.8 \text{ kt}$$

δ – drift angle – úhel snosu větrem

ϵ – wind track angle – úhel větru na trať

Vliv větru – 2. početní řešení

Moc složité? Tak to zjednodušíme!!!

BOČNÍ VÍTR

$$\delta = 60 \cdot \frac{Ws \cdot \sin(Wd - TR)}{TAS}$$

$$DriftAngle = 60 \cdot \frac{CrossWindSpeed}{TAS}$$

Úhel snosu větrem je 60x boční složka větru dělená pravou vzdušnou rychlostí

$$CrossWindSpeed = Ws \cdot \sin(Wd - TR)$$

- Pořád složité?
- Letím kurzem 220°
- Vítr fouká z 250° a má rychlost 10 kt
- Jaká je boční složka větru? Co ta funkce sinus?
- Boční složka větru je 5 kt!!!
- Jak jsem to zjistil?

Výpočet složek větru - goniometrie

BOČNÍ VĚTR

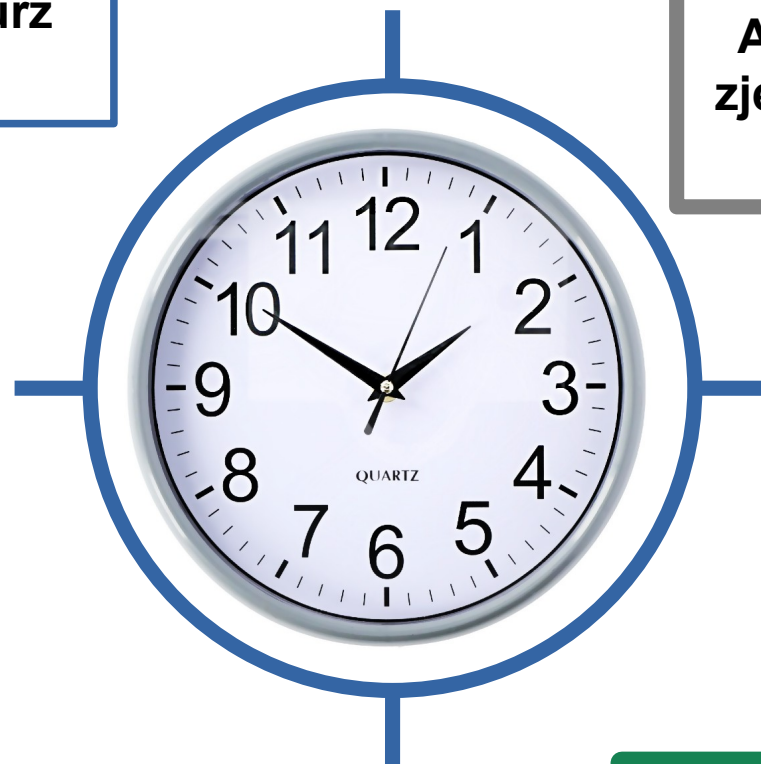
$250^\circ - 220^\circ = 30^\circ$
Tj. úhel větru na kurz
letu je 30°

$$60^\circ \approx 1.0$$

$$0^\circ = 0.0$$

Aproximace neboli
zjednodušení funkce
sinus

$$45^\circ \approx 0.75$$



$$15^\circ \approx 0.25$$

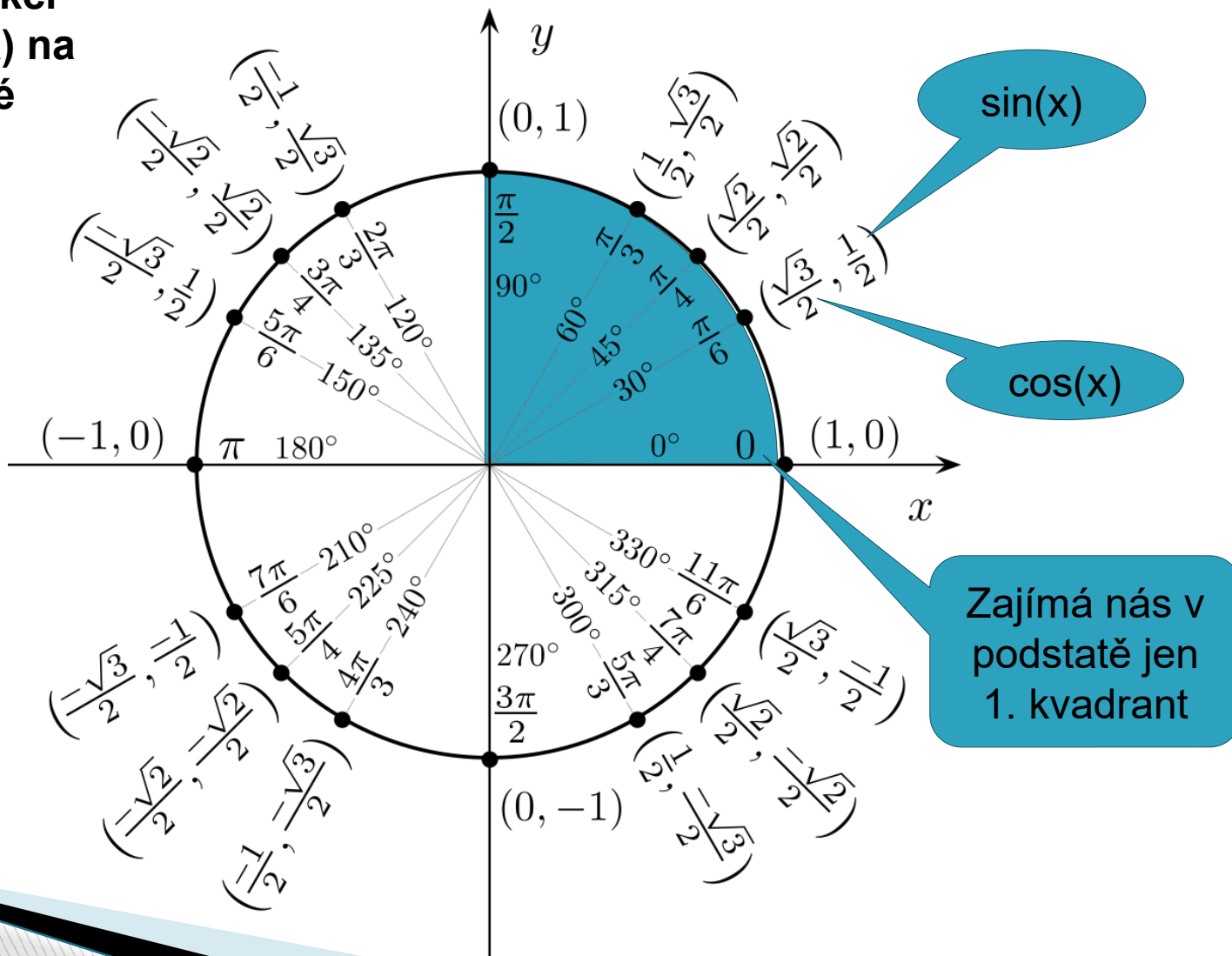
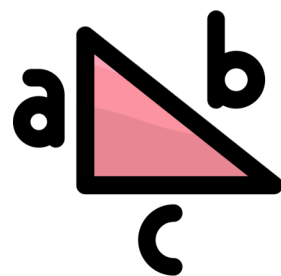


$$30^\circ = 0.50$$

$0.5 \times 10 \text{ kt} = 5 \text{ kt}$
Boční složka větru je 5kt

Výpočet složek větru - goniometrie

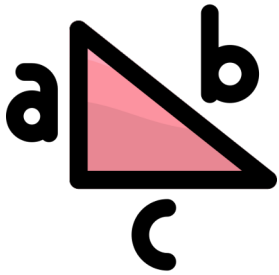
Hodnoty funkcí $\sin(x)$ a $\cos(x)$ na jednotkové kružnici



Tabulka hodnot goniometrických funkcí

Stupně	Radiány	Sinus	Kosinus	Tangens	Kotangens
0	0	0	1	0	—
30	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{3}$
45	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	1
60	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$
90	$\frac{\pi}{2}$	1	0	—	0

Tabulka hodnot goniometrických funkcí



Úhel [°]	$\sin(x)$	$\cos(x)$
0	0,00	1,00
30	0,50	0,87
45	0,71	0,71
60	0,87	0,50
90	1,00	0,00

Vliv větru – 2. početní řešení

Moc složité? Tak to zjednodušíme!!!

BOČNÍ VÍTR

$$\text{DriftAngle} = 60 \cdot \frac{\text{CrossWindSpeed}}{\text{TAS}}$$

Úhel snosu větrem je 60x boční složka větru dělená pravou vzdušnou rychlostí

- Pořád složité?
- Letím kurzem 220°
- Vítr fouká z 250° a má rychlost 10 kt
- Jaká je snos větrem?
- Boční složka větru je 5 kt
- Moje rychlost je 100 kt

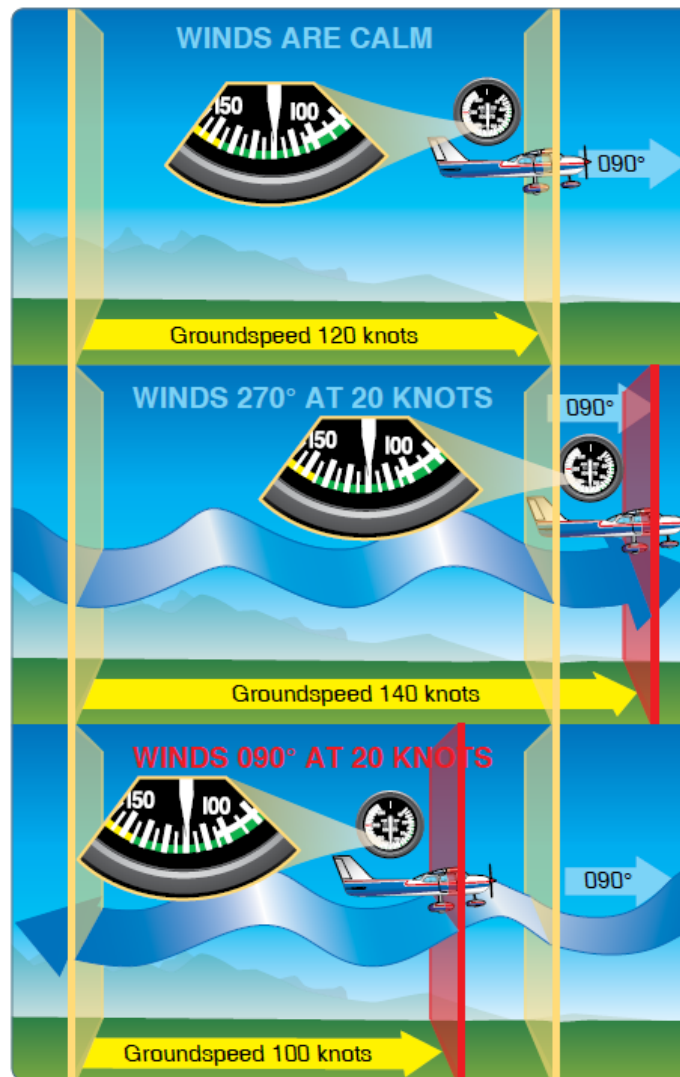
$$\text{DriftAngle} = 60 \cdot \frac{5}{100} = 6 \cdot \frac{5}{10} = \frac{30}{10} = 3^\circ$$

Úhel snosu větrem je 3°

Vliv větru – 2. početní řešení

Jak rychle poletím vůči zemi? GS?

Přední a Zádňní vítr



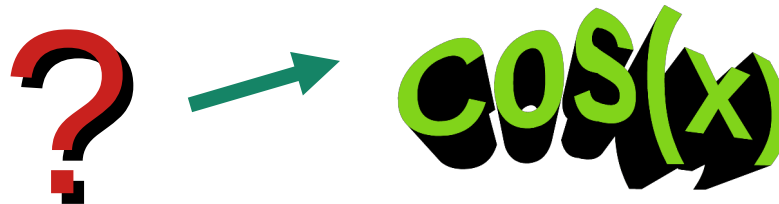
Vliv větru – 2. početní řešení

Moc složité? Tak to zjednodušíme!!!

Přední a zadní vítr

$$\text{Head/TailWindComponent} = Ws \cdot \cos(Wd - HDG)$$

- Čelní nebo zadní složku větru vypočítáme pomocí funkce kosinus a úhlu větru na kurz letu
- Letím kurzem 220°
- Vítr fouká z 250° a má rychlost 10 kt
- Jaká je čelní složka větru? Co ta funkce kosinus?
- Čelní složka větru je 9 kt!!! Skoro 10 kt
- Jak jsem to zjistil?



Vliv větru – 2. početní řešení

Jak rychle poletím vůči zemi? GS?

Přední a zadní vítr

- Moje rychlost je 100 kt
- Letím kurzem 220°
- Vítr fouká z 250° a má rychlost 10 kt
- Jaká je čelní složka větru? Co ta funkce kosinus?
- Čelní složka větru je 9 kt!!! Skoro 10 kt
- Vítr fouká proti mně - odečítám
- **Moje rychlost vůči zemi (tratová) je 91 kt**

$$\text{Head / Tail Wind Component} = Ws \cdot \cos(Wd - TR)$$

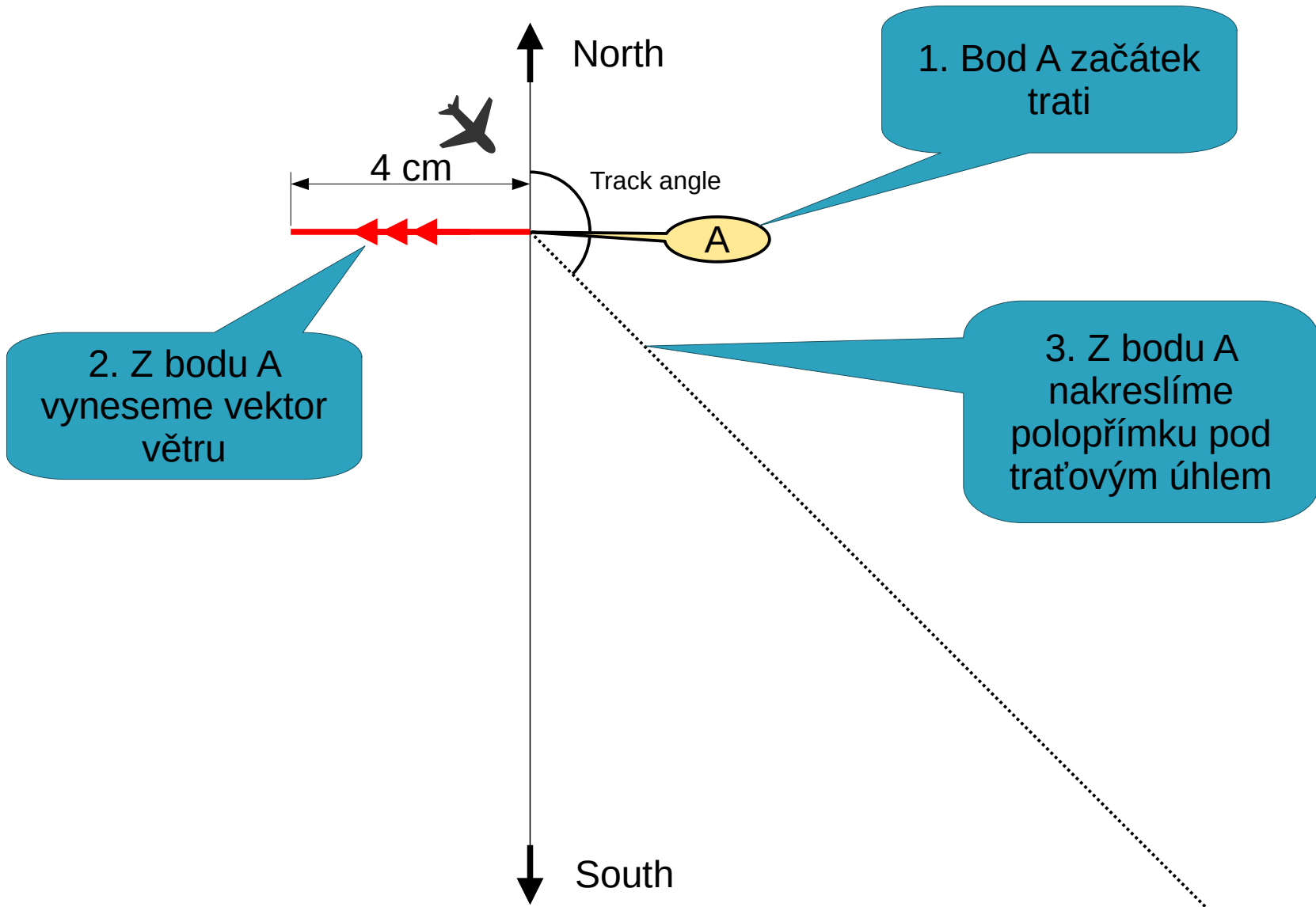


Navigační trojúhelník – 3. grafické řešení

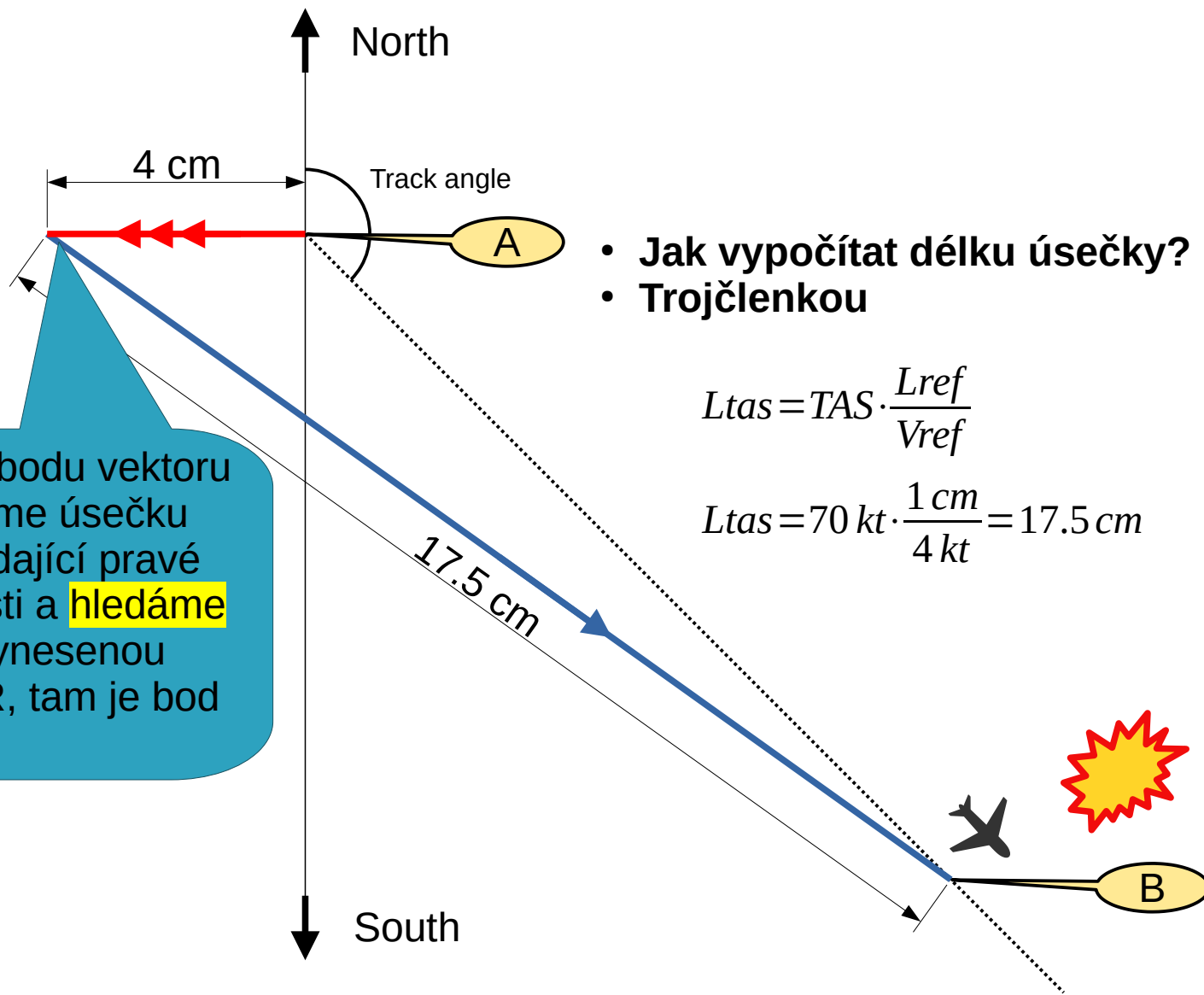
Moc složité? Vezmeme pravítko!!!



- Zvolíme si počátek trati a měřítko
- Počátek trati je bod A
- Vítr fouká z 90° a má rychlost 16 kt
- Měřítko bude 4 kt \approx 1 cm
- Chceme letět kurzem 135°
- Moje pravá vzdušná rychlost je 70 kt



Naše pravá vzdušná rychlost je 70 kt



- Jak vypočítat délku úsečky?
- Trojčlenkou

$$L_{tas} = TAS \cdot \frac{L_{ref}}{V_{ref}}$$

$$L_{tas} = 70 \text{ kt} \cdot \frac{1 \text{ cm}}{4 \text{ kt}} = 17.5 \text{ cm}$$

4. Z koncového bodu vektoru větru, vyneseme úsečku délkou odpovídající pravé vzdušné rychlosti a hledáme průsečík s vnesenou polopřímku TR, tam je bod B

A je to!

- Změříme délku úsečky mezi body A a B $L_{ab} = 14.38 \text{ cm}$

$$GS = L_{ab} \cdot \frac{V_{ref}}{L_{ref}}$$

$$GS = 14.38 \text{ cm} \cdot \frac{4 \text{ kt}}{1 \text{ cm}} = 57.5 \text{ kt}$$

6. Úhloměrem změříme HDG

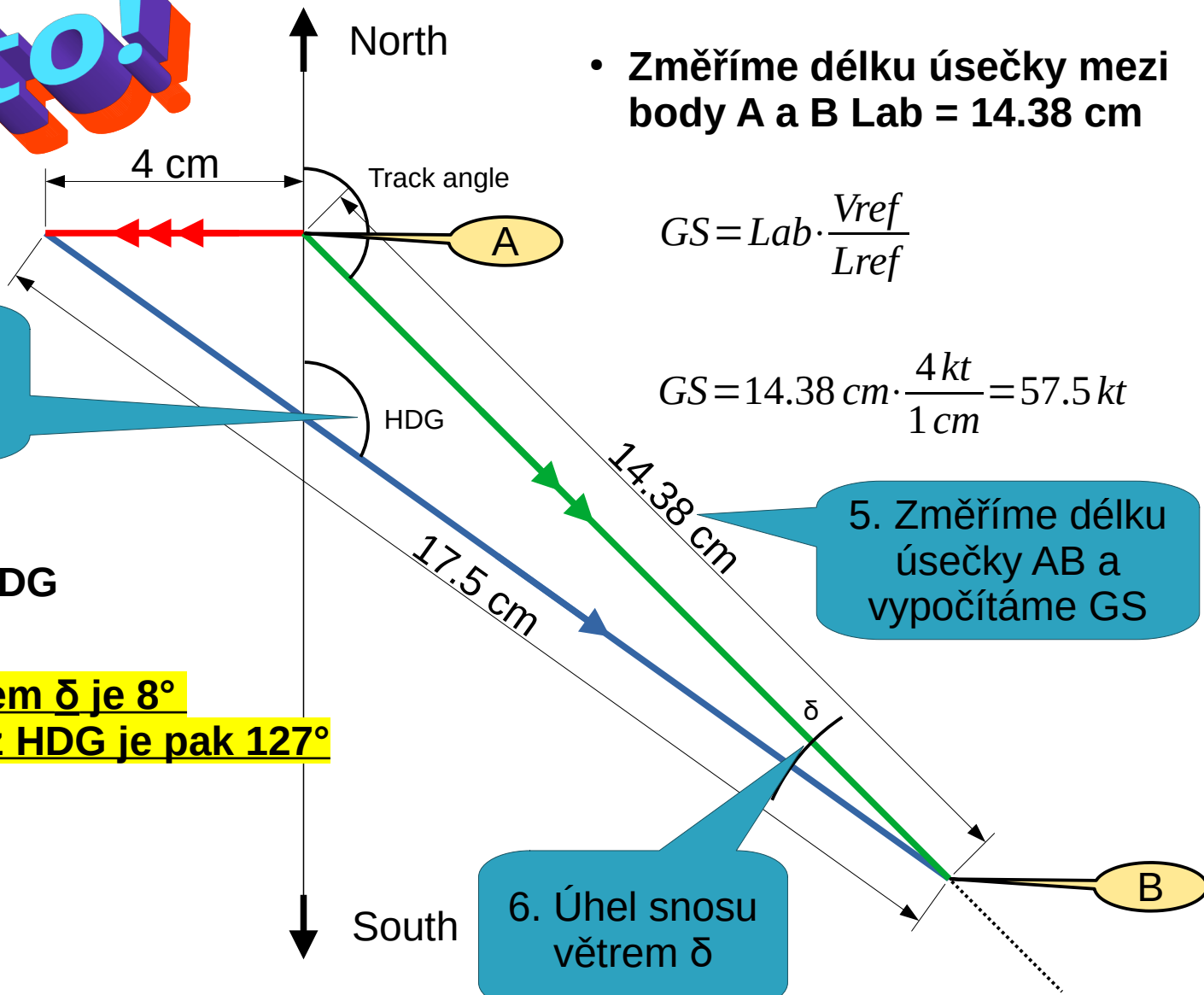
- Změříme úhel δ
- Změříme úhel HDG

- Úhel snosu větrem δ je 8°
- Kompasový kurz HDG je pak 127°

5. Změříme délku úsečky AB a vypočítáme GS

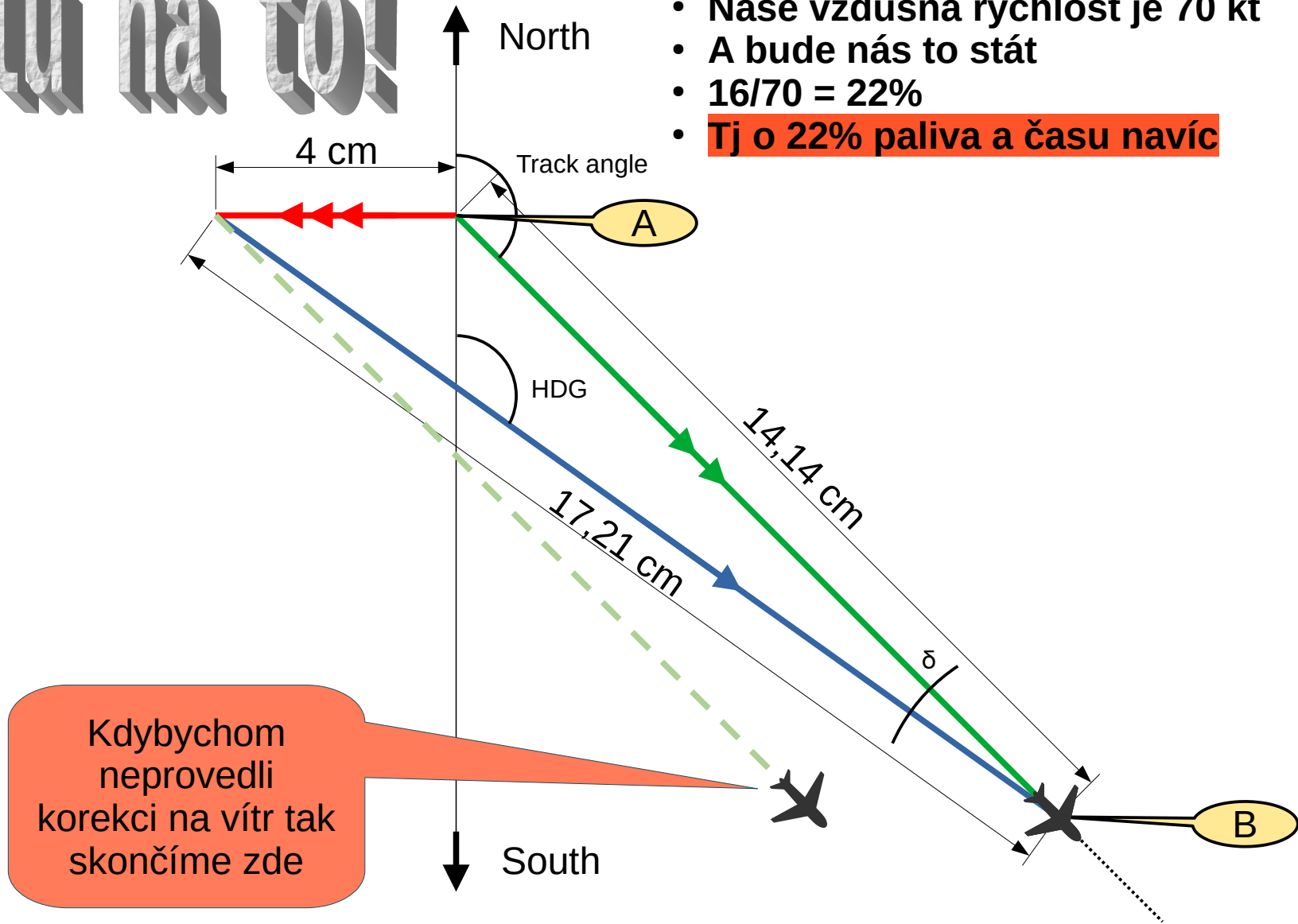
6. Úhel snosu větrem δ

Moje rychlost vůči zemi (tratová) je 57.5 kt



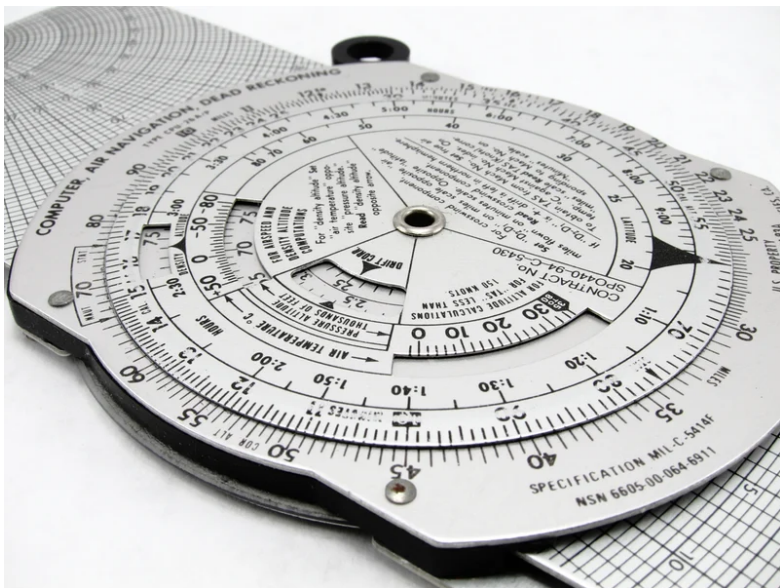
Kašlu na to!

- 16 kt mimo
- Naše vzdušná rychlost je 70 kt
- A bude nás to stát
- $16/70 = 22\%$
- **Tj o 22% paliva a času navíc**



Navigační trojúhelník – 4. počítadlo

Moc složité? Vezmeme kulaté logaritmické pravítko!!!



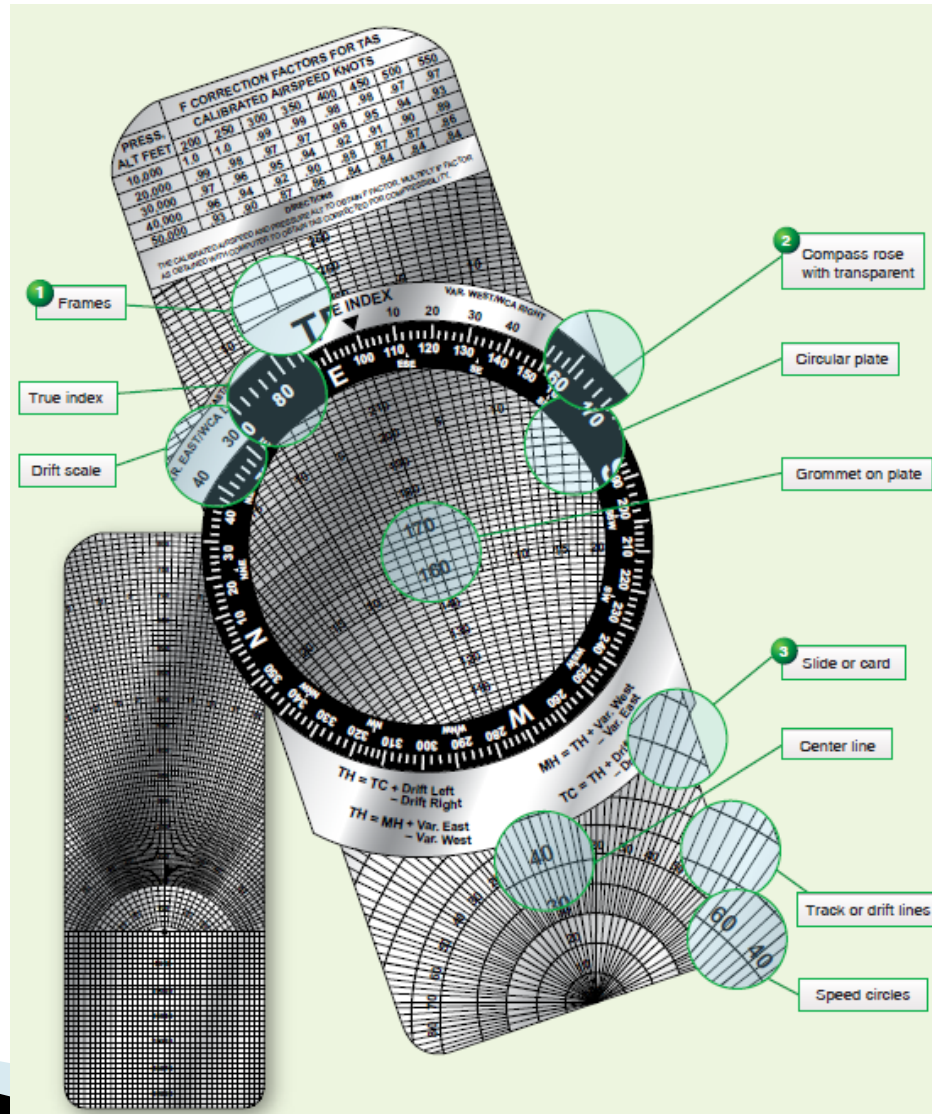
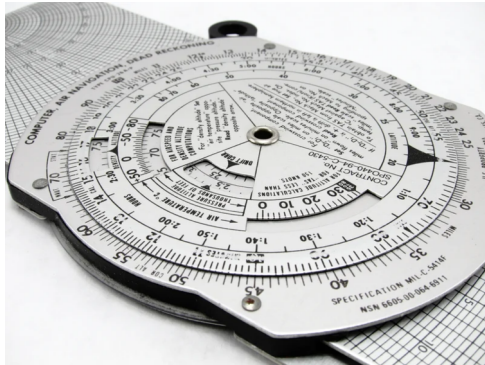
E6B

- vyvinut v USA námořním poručíkem Philipem Daltonem (1903–1941)
- od 30. let 20. století
- název pochází z původního čísla dílu pro americké armádní letecké sbory

Daltonovým prvním populárním **navigačním computerem** byl jeho Model B z roku 1933, kruhové logaritmické pravítko s korekcemi skutečné rychlosti letu (TAS) a nadmořské výšky, které piloti tak dobře znají.

Navigační trojúhelník – 4. počítadlo

Moc složité? Vezmeme kulaté logaritmické pravítko!!!



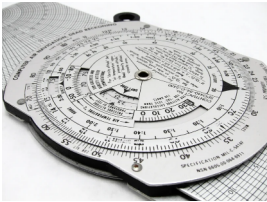
Navigační trojúhelník – 4. počítadlo - postup

Řešíme úlohu kde hledáme rychlost vůči zemi (Ground speed) a kurz letu (HDG)

- 1) Nastavte směr větru W_d pod šipku True Index
- 2) Označte rychlost W_s větru tečkou (dále **Značka**) nahoru od středu (nýtku) dle měřítká stupnice rychlosti
- 3) Nastavte Traťový kurz pod šipku True Index
- 4) Posuňte **Značku** na kružnici Pravé vzdušné rychlosti
- 5) Pod středem (nýtkem) odečteme rychlost vůči zemi (Ground speed)
- 6) Úhel snosu větrem odečteme mezi středovou svislou čárou a **Značkou** rychlosti větru

Navigační trojúhelník – 4. počítaadlo

Moc složité? Stáhneme appku!!!



Appky

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sportys.android.e6b&hl=cs>

<https://apps.apple.com/cz/app/flight-computer-e6b/id1553076182>

<https://e6bx.com/>

Díky za pozornost



Otázky ??