

Dopplerovský měřič traťové rychlosti

Základní funkcí Dopplerova měřiče rychlosti je nepřetržité určování vektoru traťové rychlosti vůči zemskému povrchu. Pokud je měření tohoto vektoru konvertováno do formátu zemských zeměpisných souřadnic a rozloženo na severní a východní zeměpisnou složku rychlosti, mohou být tyto složky horizontální rychlosti integrovány do směru pohybu letadla ze známého bodu startu a tím je možné určovat aktuální zeměpisnou polohu letadla a počítat vzdálenost k zadanému cíli. Dopplerův měřič rychlosti tak může být primárním senzorem autonomního navigačního systému nebo jedním ze sensorů v multisenzorovém navigačním systému. Rychlost je určována měřením Dopplerova kmitočtového posunu mikrovlnných signálů, které jsou vysílány z paluby letadla v několika úzkých paprscích směrem k zemskému povrchu pod relativně ostrými úhly a které jsou po odrazu zpět přijímány přijímačem Dopplerova měřiče rychlosti.

Dopplerův měřič rychlosti má oproti jiným metodám měření rychlosti nebo autonomním navigačním systémům následující výhody:

1. rychlost je měřena vůči zemskému povrchu (traťová rychlost); je to zásadní rozdíl oproti aerometrickým centrálám, které měří rychlost vůči vzdušné mase (vzdušnou rychlost) a většině pozemských rádiových navigačních systémů, u kterých je měření rychlosti založeno na postupném měření rozdílů polohy,
2. je autonomní, takže nevyžaduje žádné pozemní stanice nebo družicové vysílače,
3. výkonové požadavky na palubní vysílač jsou velmi malé, což vede k nízké hmotnosti, rozměrům a ceně zařízení,
4. radiolokační paprsky jsou úzké a k zemi směřovány pod ostrými úhly, což vede k extrémně nízké detekovatelnosti,
5. pracuje ze všech povětrnostních podmínek, s výjimkou extrémních dešťů,
6. pracuje nad zemským povrchem i nad vodou, kromě zcela klidné vodní hladiny,
7. informace o průměrné rychlosti je velmi přesná,
8. je obzvláště vhodný pro třírozměrné měření rychlosti a pro velmi nízké rychlosti, což je vyžadováno navigačními systémy vrtulníků a vznášedel,
9. nejsou vyžadovány žádné mezinárodní smlouvy, protože není potřebné žádné pozemní vybavení,
10. nejsou vyžadovány předletová nastavení a doba přípravy k činnosti.

Nevýhody Dopplerova měřiče rychlosti jsou následující:

1. pro autonomní navigaci vyžaduje externí palubní zdroj kurzové informace z gyromagnetického kompasu, gyroskopické kurzovetikály nebo stabilizované základny inerciálního navigačního systému,
2. vyžaduje interní nebo externí vertikální referenci pro konverzi jeho rychlosti do formátu zeměpisných souřadnic; tato informace ale nemusí být vysoce přesná,
3. informace o poloze degraduje s narůstající vzdáleností,
4. okamžitá nebo krátkodobá informace o rychlosti není tak přesná jako průměrná nebo filtrovaná rychlost; tento rozdíl však není významný pro obecnou navigaci, ale může mít význam pro další aplikace,
5. při činnosti nad vodní hladinou je přesnost poněkud degradována v důsledku odrazových charakteristik a pohybu vody.

Na velkém množství letadel jsou Dopplerovy měřiče rychlosti instalovány ve spojení se stabilizovanou základnou inerciálního navigačního systému, kde jsou data o rychlosti z Dopplerova měřiče využívána pro tlumení Schulerových oscilací inerciálního navigačního systému. Rozdílné charakteristiky dat o rychlosti z těchto dvou senzorů, kterými jsou malá dlouhodobá chyba měření rychlosti Dopplerova měřiče a malá krátkodobá chyba měření rychlosti inerciálního systému, vedou ke vhodné kombinaci dat těchto dvou senzorů ve formě optimálního estimačního filtru. V některých konfiguracích jsou data o rychlosti z Dopplerova měřiče rovněž kombinována s daty družicového navigačního přijímače. Na moderních bojových letadlech byla funkce měření rychlosti na principu Dopplerova měřiče pro přesnou korekci rychlosti inerciálního systému začleněna do koherentního radiolokátoru s dopředným snímáním.

Dopplerův jev je možné popsat jako změnu kmitočtu způsobenou relativním pohybem mezi vysílačem a přijímačem. Tato změna kmitočtu, nazývaná Dopplerův posun kmitočtu, je přímo úměrná relativní rychlosti mezi vysílačem a přijímačem. V případě elektromagnetických vln (na rozdíl od zvukových vln) není podstatné, jestli se pohybuje vysílač, přijímač nebo oba. Pokud je relativní rychlost mezi vysílačem a přijímačem menší než rychlost světla, tak pro Dopplerův kmitočet platí:

$$f_d = \frac{v_r f}{c} = \frac{v_r}{\lambda} \quad (4.1)$$

kde

f_d je Dopplerův kmitočet,

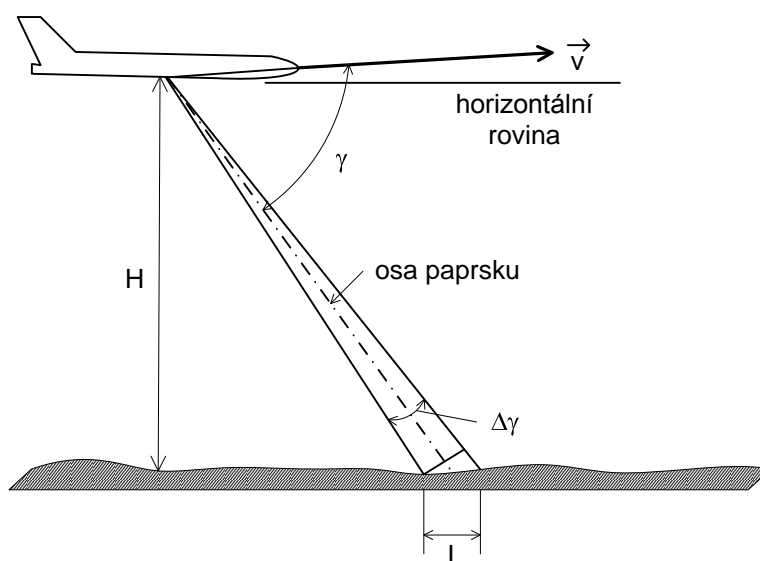
v_r je relativní rychlost mezi vysílačem a přijímačem,

f je vysílaný kmitočet,

c je rychlost světla,

λ je vlnová délka vysílaného signálu.

Pro měření rychlosti letadla je na palubě instalován radiolokační vysílač-přijímač, který vyzařuje elektromagnetickou energii směrem k zemskému povrchu prostřednictvím několika paprsků. Jeden z nich je znázorněn na obr.4.1.



Obr.4.1: Základní geometrie paprsku Dopplerova měřiče rychlosti

Část energie se od země odráží zpět a je přijímána na palubě letadla. Jestliže se letadlo pohybuje vektorem celkové rychlosti \vec{v} , tak paprsek měří radiální složku rychlosti v_r :

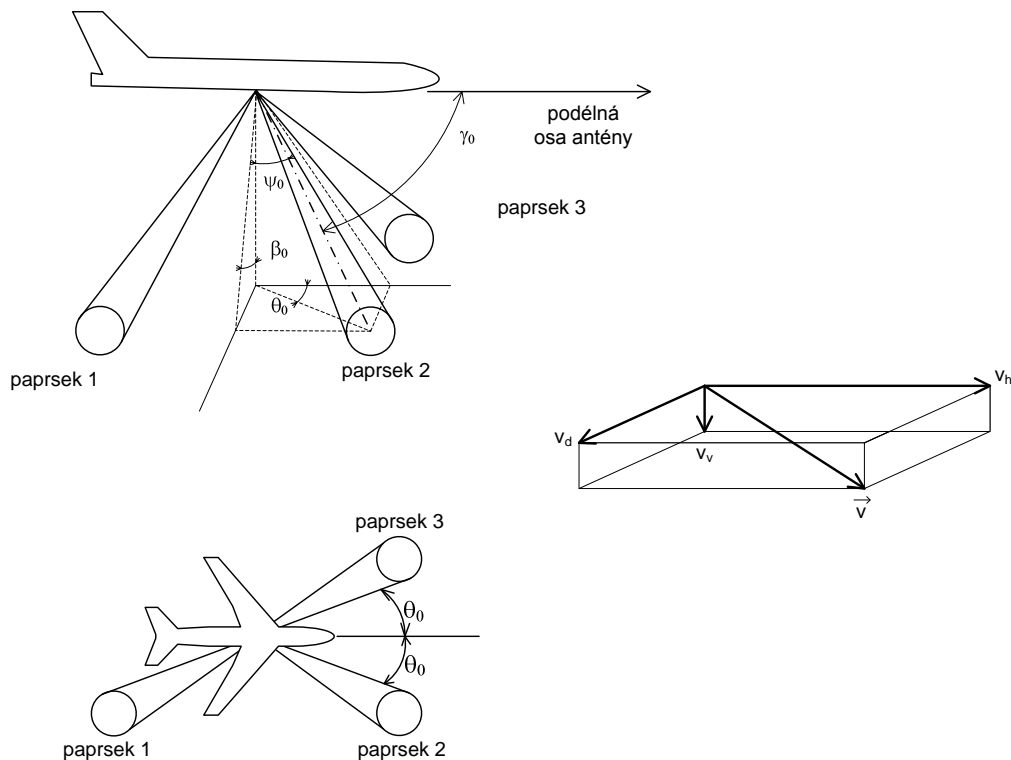
$$v_r = 2v \cos \gamma \quad (4.2)$$

kde γ je úhel mezi vektorem celkové rychlosti \vec{v} a osou vyzařovaného paprsku. Činitel 2 v rovnici 4.2 znamená, že se vůči zemskému povrchu pohybují vysílač i přijímač a tím je radiální složka rychlosti dvojnásobná. Po dosazení rovnice 4.2 do rovnice 4.1 dostáváme:

$$f_d = \frac{2vf}{c} \cos \gamma = \frac{2v}{\lambda} \cos \gamma \quad (4.3)$$

Rovnice 4.3 je základním vztahem pro měření rychlosti prostřednictvím Dopplerova měřiče. Každý paprsek Dopplerova měřiče rychlosti tak měří tu radiální složku rychlosti pohybu vůči zemskému povrchu, která je rovnoběžná se směrem paprsku. V teorii činnosti se vyskytují dva paradoxy kladoucí otázku, zda je správná činnost Dopplerova měřiče rychlosti vůbec možná: paradox zcela rovného zemského povrchu a horský paradox. První paradox (nesprávně) argumentuje tím, že pokud se letadlo pohybuje paralelně s rovinou terénu na konstantní výšce, tak se vzdálenost k zemi nemění, nedochází ke změně rychlosti a tím ani ke vzniku Dopplerovu posunu a tak není činnost Dopplerova měřiče rychlosti vůbec možná. Druhý paradox (nesprávně) argumentuje tím, že pokud letadlo letí horizontálně nad svažujícím se terénem, vzdálenost k zemi ve směru paprsku se nepřetržitě mění, tím se mění i rychlost vůči zemi a důsledkem je významná chyba v měření rychlosti letadla. Oba argumenty jsou v podstatě chybné ze stejného důvodu. Zpětný radiolokační rozptyl je tvarován prostřednictvím diskretních a nepravidelných objektů na zemi (kamení, listí, atd.) a tím je zajištěn relativní pohyb mezi letadlem a každým z těchto rozptylových objektů. Pokud je povrch dokonale hladký, odraz od povrchu by byl zrcadlový a žádná odražená energie by se nevrátila zpět na palubu. Takže pokud jsou odrazné plošky dostatečně drsné pro rozptyl energie, dochází k detekci signálu přijímačem a vzniká Dopplerův posun kmitočtu podle vztahu 4.3. Rovněž nevzniká vůbec žádná chyba v důsledku svažujícího se terénu, protože zpětný radiolokační rozptyl přichází od jednotlivých diskretních stacionárních objektů na zemi a tím je zajištěn správný Dopplerův posun.

Protože nás zajímají tři ortogonální složky rychlosti, tak jsou pro měření těchto složek požadovány minimálně tři paprsky, které nejsou v jedné rovině. Konfigurace takových paprsků je znázorněna na obr.4.2. Protože má tato konfigurace paprsky směřující vpřed i vzad, nazývá se Janusovou konfigurací po římském bohu, který se dvěma tvářemi viděl dozadu stejně dobře, jako dopředu. V Janusově systému je Dopplerův kmitočet získávaný pravým-předním paprskem odečítán od Dopplerova kmitočtu pravého-zadního paprsku a tím je určována podélná složka rychlosti v_h . Protože dopředu směřující paprsek 2 zajišťuje zvýšení kmitočtu (kladný Dopplerův posun) a dozadu směřující paprsek 1 zajišťuje snížení kmitočtu (záporný Dopplerův posun), tak výsledkem odečítání těchto dvou Dopplerových kmitočtů je ve skutečnosti jejich součet. Za podmínek letu s nulovým snosem a nulovými úhly příčného náklonu a podélného sklonu, kdy jsou oba Dopplerovy kmitočty shodné, platí pro celkový Dopplerův kmitočet obou paprsků v Janusově systému vztah: $f_d = (4v/\lambda)\cos\gamma$. Pro standardní Dopplerovy měřiče rychlosti je hodnota Dopplerova kmitočtu kolem 30 Hz/uzel (knot = 1NM/hod).



Obr.4.2: Konfigurace tří-paprskového Dopplerova měřiče rychlosti „lambda“

Konfigurace zobrazená na obr.4.2 se nazývá „lambda“, protože půdorys paprsků má tvar řeckého písmena λ . Dopplerovy kmitočty každého paprsku jsou přímo úměrné algebraickému součtu průmětů tří ortogonálních složek rychlostí podél paprsku. Matematické vyjádření výpočtu tří ortogonálních složek rychlosti v letadlových souřadnicích vychází z kosinů paprskových směrů mezi složkami rychlosti a osami paprsků a sčítání nebo odčítání Dopplerových kmitočtů jednotlivých paprsků. Pro Dopplerovy kmitočty jednotlivých paprsků v konfiguraci „lambda“ platí následující vztahy:

$$f_{d1} = \frac{2}{\lambda} (-v'_h \cos \gamma_h + v'_d \cos \gamma_d + v'_v \cos \gamma_v)$$

$$f_{d2} = \frac{2}{\lambda} (v'_h \cos \gamma_h + v'_d \cos \gamma_d + v'_v \cos \gamma_v)$$

$$f_{d3} = \frac{2}{\lambda} (v'_h \cos \gamma_h - v'_d \cos \gamma_d + v'_v \cos \gamma_v)$$

kde

$$\cos \gamma_h = \cos \alpha_0 \cos \theta_0$$

$$\cos\gamma_d = \cos\alpha_0 \sin\theta_0$$

$$\cos\gamma_v = \sin\alpha_0$$

Pro tři ortogonální složky rychlosti v letadlových souřadnicích platí:

$$v'_h = \frac{(f_{d2} - f_{d1})\lambda}{4\cos\alpha_0 \cos\theta_0} \quad (4.4)$$

$$v'_d = \frac{(f_{d2} - f_{d3})\lambda}{4\cos\alpha_0 \sin\theta_0} \quad (4.5)$$

$$v'_v = \frac{(f_{d1} + f_{d3})\lambda}{4\sin\alpha_0} \quad (4.6)$$

kde

v'_h je podélná složka rychlosti v letadlových souřadnicích,

v'_d je příčná složka rychlosti v letadlových souřadnicích,

v'_v je vertikální složka rychlosti v letadlových souřadnicích,

f_{dn} je Dopplerův kmitočet pro paprsek n ,

α_0 je úhel deprese osy paprsku od roviny antény, předpokládá se jednotný pro všechny tři paprsky, $\psi_0 = 90^\circ - \alpha_0$

θ_0 je azimut paprsku antény, tzn. ostrý úhel mezi průmětem podélné osy antény a osou paprsku antény na rovinu země paralelně k rovině antény, předpokládá se jednotný pro všechny tři paprsky; vztah mezi γ_0 , ϕ_0 a θ_0 je $\cos\gamma_0 = \sin\phi_0 \cos\theta_0$,

$\gamma_h, \gamma_d, \gamma_v$ jsou úhly mezi v'_h, v'_d, v'_v a osami paprsků, tzn. $\cos\gamma_h, \cos\gamma_d, \cos\gamma_v$ jsou směrové kosiny.

Přestože jsou pro zajištění tří složek rychlosti potřebné pouze tři paprsky, tak většina moderních Dopplerových měřičů rychlosti používá čtyři paprsky. Dopplerův kmitočet čtvrtého paprsku f_{d4} se pro získání další estimace v'_h kombinuje s kmitočtem f_{d3} (nahrazením f_{d2} a f_{d1} ve vztahu 4.4 kmitočty f_{d3} a f_{d4}). Pro získání přesnější hodnoty horizontální složky rychlosti se tak průměrují dvě estimace v'_h . Rozdíl v obou estimacích by měl být velmi malý a případný velký rozdíl indikuje chybu v měření Dopplerova kmitočtu. Data o rychlosti jsou

v takovém případě považována za nevěrohodná a nebudou se využívat, dokud nebude rozdíl obou estimací opět malý. Tato technika je využívána jako součást samokontroly většiny Dopplerových měřičů rychlosti. Podobně může být kmitočet f_{d4} kombinován s kmitočtem f_{d1} pro získání další estimace v'_d (nahrazením f_{d2} a f_{d3} ve vztahu 4.5 kmitočty f_{d1} a f_{d4}) a kombinováním f_{d4} s kmitočtem f_{d2} lze získat i druhou estimaci v'_v (nahrazením f_{d1} a f_{d3} ve vztahu 4.6 kmitočty f_{d2} a f_{d4}). Ve všech uvedených případech jsou pro získávání přesnějších hodnot jednotlivých složek rychlosti tedy průměrovány dvě estimace jednotlivých složek rychlosti.

V pevném anténním systému musí být získané složky rychlosti v souřadnicovém systému letadla v'_h , v'_d a v'_v kombinovány s informacemi o úhlech příčného náklonu a podélného sklonu, aby mohly být vypočítány jednotlivé složky rychlosti letadla v zeměpisných souřadnicích v_h , v_d a v_v . Protože velikost vektoru celkové rychlosti \vec{v} je dána součtem tří ortogonálních složek v_h , v_d a v_v , tak Dopplerův měřič rychlosti v konfiguraci se třemi nebo čtyřmi paprsky umožňuje měření velikosti a smyslu směru těchto jednotlivých složek rychlosti.

Pro Dopplerovy měřiče rychlosti mohou být využívány různé varianty konfigurace paprsků, včetně Janusovy konfigurace (dvousměrové) a ne-Janusovy konfigurace (jednosměrové). Janusova konfigurace má oproti ne-Janusově konfiguraci velmi důležitou výhodu v mnohem menší citlivosti chyby měření rychlosti na znalosti vertikální polohy letadla. Vyjádření chyby měření rychlosti jako funkce chyby měření úhlu podélného sklonu pro Janusův a ne-Janusův systém za podmínek nulového podélného sklonu, nulového snosu a nulové vertikální rychlosti jsou následující:

$$\varepsilon_v = \frac{\delta v}{v} = (\tan \gamma_0) \delta P \quad (\text{ne-Janusův}) \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_v = \frac{\delta v}{v} = 1 - \cos \delta P \quad (\text{Janusův}) \quad (4.8)$$

kde

ε_v je relativní chyba měření horizontální rychlosti,

δv je absolutní chyba měření horizontální rychlosti,

δP je chyba měření úhlu podélného sklonu.

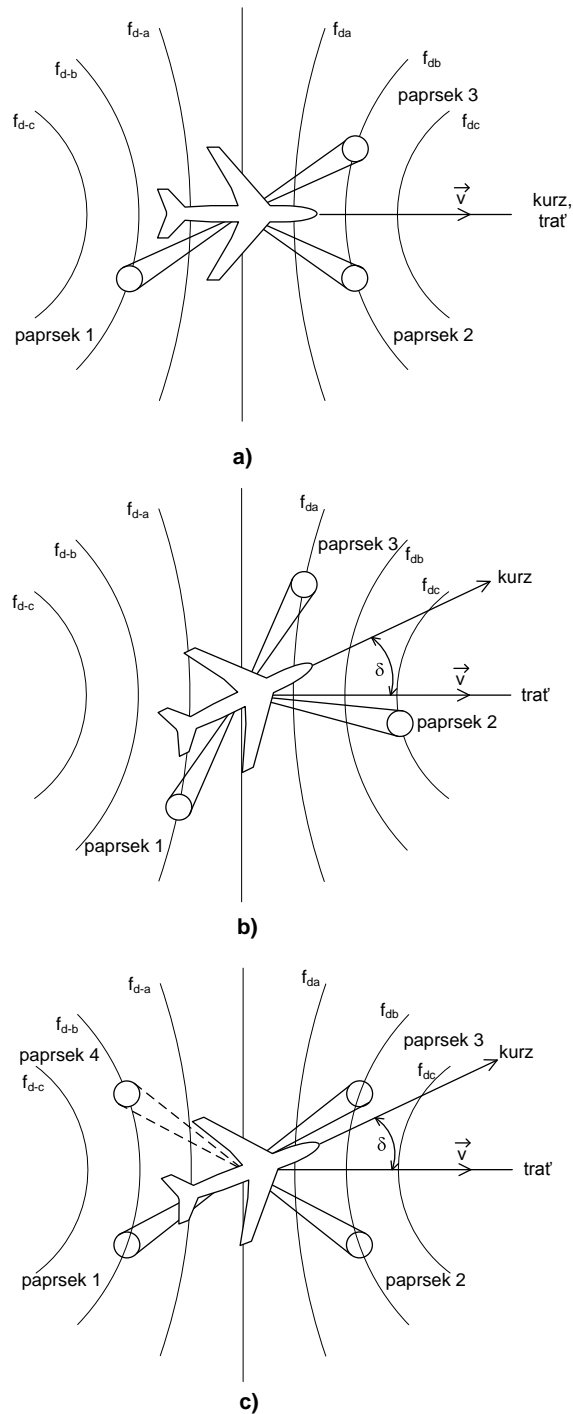
Podle výše uvedených podmínek jsou vztahy 4.7 a 4.8 stejně platné pro pevný i fyzicky stabilizovaný anténní systém. Ze vztahů 4.7 a 4.8 vyplývá, že ne-Janusův systém

s úhlem $\gamma = 70^0$ (což je přiměřená hodnota) má chybu měření horizontální rychlosti 4,7% na 1^0 chyby měření úhlu podélného sklonu, zatímco Janusův systém má chybu měření horizontální rychlosti pouze 0,014% na 1^0 chyby měření úhlu podélného sklonu. Z těchto důvodů využívají všechny moderní Dopplerovy měřiče rychlosti Janusovu konfiguraci paprsků. Nicméně, pokud je Dopplerova rychlost extrahována z koherentního radiolokátoru s dopředným snímáním nebo průzkumného radiolokátoru, výsledkem je ne-Janusova konfigurace.

Volba velikosti nominálního úhlu mezi podélnou osou antény a osou paprsku γ_0 pro typický Dopplerův systém představuje kompromis mezi vysokou citlivostí na rychlost (Hertz na uzel) a přesností nad vodou, která je větší pro menší úhly γ_0 a vysokou úroveň odraženého signálu nad vodou, která je větší pro větší úhly γ_0 . Většina soudobých zařízení využívá úhel úhly γ_0 v rozmezí mezi 65^0 a 80^0 . Volba velikosti úhlu β_0 závisí na požadované citlivosti na snos letadla (Hertz na stupeň), která má sklon ke zvětšování se zvyšováním β_0 .

Existují dva různé základní typy mechanického provedení Dopplerových měřičů rychlosti, které mohou být využívány pro měření úhlu snosu, s pevným (kurzově stabilizovaným) anténním systémem, který využívá většina moderních systémů a s traťově stabilizovaným (stabilizovaným podle úhlu snosu) anténním systémem (obr.4.3). Na obr. 4.3 se předpokládají nulové úhly podélného sklonu a příčného náklonu. Obr. 4.3a znázorňuje situaci pro nulový úhel snosu ($\delta = 0$) a nulový úhel stoupání, takže vektor rychlosti \vec{v} je umístěn podél průsečíku místní horizontální a vertikální roviny v podélné ose letadla. Jinými slovy, letadlo letí horizontálně a trať letadla je stejná, jako jeho kurz. Hyperboly na obr. 4.3, označené jako $f_{da}, f_{db}, f_{dc}, f_{d-a}$, atd., jsou polohové čáry konstantních Dopplerových kmitočtů, kde kladné indexy představují kladné Dopplerovy posuny a záporné indexy představují záporné Dopplerovy posuny. Tyto hyperboly, nazývané izočáry, jsou vytvářeny průsečíky kuželových ploch s konstantními Dopplerovými posuny s předpokládanou rovinou Země. Z obr.4.3a je zřejmé, že rozdíl Dopplerových posunů z paprsků 1 a 2 zajistí měření podélné složky rychlosti v_h která je rovnoběžná s kurzem letadla, což vyplývá ze vztahu 4.4. Rozdíl Dopplerových posunů z paprsků 2 a 3, podle vztahu 4.5, bude indikovat nulovou hodnotu příčné složky rychlosti v_d , která je kolmá na kurz letadla a tím bude indikovat nulový úhel snosu (protože $f_{db} - f_{db} = 0$). Podobně i součet Dopplerových posunů z paprsků 2 a 3 bude indikovat nulovou vertikální složku rychlosti, podle vztahu 4.6. Všechny pozemní průsečíky paprsků se nacházejí na stejných ekvivalentních izočarách. Za podmínek snosu, jak znázorňuje obr.4.3b a obr.4.3c, již není trať letadla shodná s jeho kurzem. U Dopplerových

měřičů s pevným anténním systémem, jak znázorňuje obr.4.3b, se paprsky natočí spolu s letadlem a pozemní průsečíky paprsků 1, 2 a 3 se budou nacházet na různých izočarách. Rozdíl Dopplerových posunů z paprsků 3 a 2 tak bude indikovat nenulovou příčnou složku rychlosti, kolmou na kurz, podle vztahu 4.5 a rozdíl Dopplerových posunů paprsků 1 a 2 bude určovat velikost podélné složky rychlosti, rovnoběžné s kurzem letadla, podle vztahu 4.4.



Obr.4.3: Srovnání pevných a traťově stabilizovaných anténních systémů

Činnost staršího typu Dopplerova měřiče rychlosti s traťově stabilizovaným anténním systémem je znázorněna na obr 4.3c. V tomto systému jsou rozdíly Dopplerových posunů

z paprskových párů 1-3 a 2-4 využívány pro řízení serva, které otáčí anténním systémem dokud není tento rozdíl nulový. To znamená, že až se pozemní průsečíky těchto paprskových párů budou nacházet na stejné izočáře, došlo k přemístění osy anténního systému do polohy rovnoběžně s tratí. V tomto systému jsou Dopplerovy signály z paprskových párů 1-3 a 2-4 typicky získávány sekvenčním způsobem a poté komparovány, čímž je umožněno časové sdílení přijímače. Úhel snosu může být přímo odečítán jako úhel mezi osou antény a podélnou osou letadla (ze selsynu umístěného na anténě) a hodnota traťové rychlosti může být přímo získána průměrkováním Janusových Dopplerových posunů z paprskových párů 1-3 a 2-4. Protože směrnik (traťový úhel) je definován jako kurz plus snos, tento systém je rovněž nazýván jako systém stabilizovaný podle úhlu snosu.

S ohledem na horizontální stabilizaci jsou možné dva obecné přístupy (obr.4.4). První využívá pevný anténní systém spojený s drakem letadla (obr.4.4a) a druhý využívá kulově zavěšenou anténu, která je fyzicky stabilizovaná do místní horizontální roviny (obr.4.4b). V současné době většina Dopplerových měřičů rychlosti využívá koncepci pevného anténního systému. Pokud v této konfiguraci letadlo vykonává podélný sklon nebo příčný náklon, tak se anténní systém a tím i vyzářované paprsky budou pohybovat spolu s letadlem, jak je znázorněno na obr.4.4a. Konverze jednotlivých složek rychlosti ze souřadnicového systému letadla v'_h , v'_d a v'_v do zeměpisných souřadnic potřebných pro navigaci vyžaduje řešení v závislosti na velikosti úhlu podélného sklonu P (pitch) a úhlu příčného náklonu R (roll), které jsou získávány ze senzoru polohových úhlů (gyrovertikály, gyroskopické kurzovetikály nebo inerciálního navigačního systému). Tato konverze je dána následujícími vztahy:

$$v_h = v'_h \cos P + v'_d \sin R \sin P + v'_v \cos R \sin P \quad (4.9)$$

$$v_d = v'_d \cos R - v'_v \sin R \quad (4.10)$$

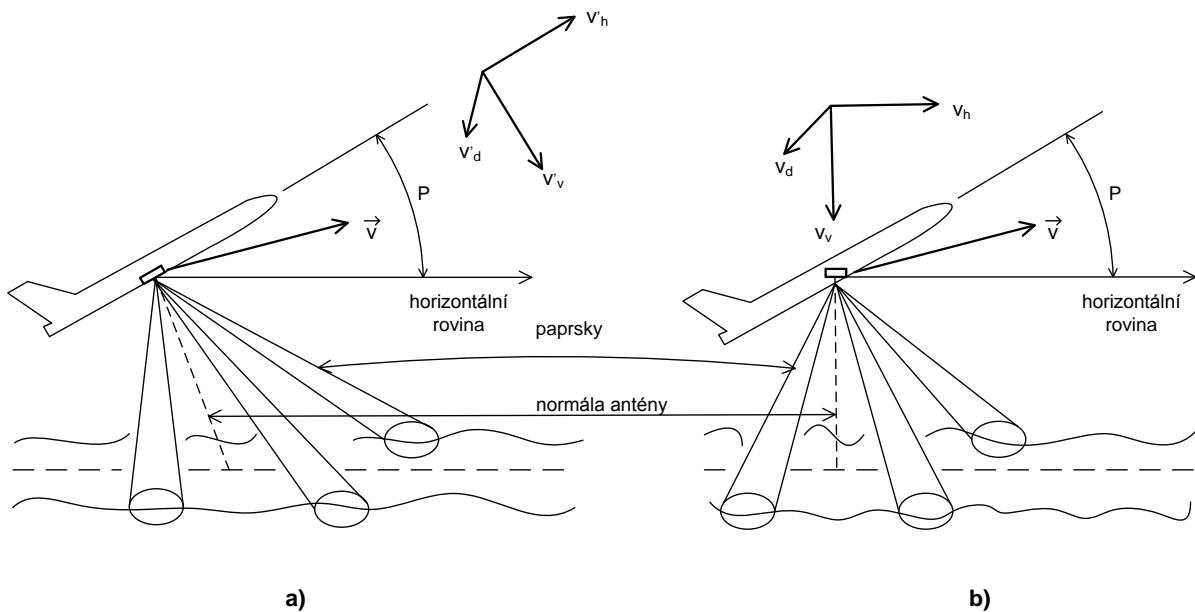
$$v_v = -v'_h \sin P + v'_d \sin R \cos P + v'_v \cos R \cos P \quad (4.11)$$

kde jednotlivé složky rychlosti jsou definovány podle obr.4.2.

Druhý typ Dopplerova měřiče rychlosti využívá anténní systém, který je spojitě synchronní k místní horizontální rovině prostřednictvím informace ze senzoru polohových úhlů. V minulosti se tato technika využívala poměrně často, v současné době již jen zřídka. Po výpočtu v_h , v_d a v_v podle vztahů 4.9 až 4.11 je možné získat velikost úhlu snosu δ a traťové rychlosti v_g podle následujících vztahů:

$$\delta = \arctg \frac{v_d}{v_h} \quad (4.12)$$

$$v_g = \sqrt{v_h^2 + v_d^2} \quad (4.13)$$



Obr.4.4: Geometrie pevného a polohově stabilizovaného anténního systému

V současné době pracují Dopplerovy měřiče rychlosti na středním kmitočtu 13,325 GHz v mezinárodně schváleném pásmu od 13,25 do 13,4 GHz. Tento kmitočet představuje dobrý kompromis mezi příliš nízkým kmitočtem, kterého následkem by byly nízká citlivost rychlosti (Hertz na uzel), velké rozměry palubní antény a velká šířka paprsků, a příliš vysokým kmitočtem, kterého následkem by byly nadměrná absorpce a účinky zpětného rozptylu atmosféry a dešťových srážek.

Moderní Dopplerovy měřiče rychlosti využívají dva typy vysílání, se spojitou vlnou a s frekvenčně modulovanou spojitou vlnou. Nekoherentní a koherentní impulzní modulace se pro svoji nízkou signálovou účinnost v současnosti již nevyužívají.

První Dopplerovy měřiče rychlosti z poloviny 50-tých let minulého století měly hmotnost okolo 130 kg, střední vysílaný výkon 50 W a příkon 1700 W. Spolu s navigačním počítačem byla potom celková hmotnost Dopplerova navigačního systému přes 300 kg. Současné Dopplerovy systémy mají hmotnost asi 5 kg, včetně antény, veškeré elektroniky a rozhraní datové sběrnice MIL-STD-1553, střední vyzařovaný výkon 20 mW a příkon 20 W.

Velký význam přinesla kombinace Dopplerova měřiče rychlosti s družicovým navigačním systémem GPS začleněním modulu přijímače GPS do jednotky Dopplerova měřiče rychlosti na konci 90-tých let minulého století a integrované využívání dat obou těchto

senzorů. Toto řešení kombinuje vysokou přesnost GPS a méně přesnou, ale nepřetržitou činnost Dopplerova navigačního systému. Pro činnost v nízkých výškách, např. pro vrtulníky, poskytuje Dopplerův měřič rychlosti nepřetržitou navigaci v případě, kdy jsou signály GPS nedostupné nebo dojde ke ztrátě sledování z důvodu členitosti terénu, zastínění listím stromů, prudkých manévřů nebo rušení. Využívání dat GPS řeší inicializační problémy výpočtových navigačních systémů a překonává omezení Dopplerova navigačního systému zvyšovat se vzdáleností svoji polohovou chybu v důsledku nepřesné kurzové reference, chyb Dopplerovy rychlosti a chyb způsobených pohybem vody. Dopplerův měřič rychlosti může naopak poskytovat přesnou rychlost pro snazší vyhledávání signálů GPS při jejich ztrátě.