

**ŠOLA ZA ČASTNIKE  
XVIII. GENERACIJA  
SPECIALIZACIJA NADZOR ZRAČNEGA PROSTORA**

**Zaključna naloga**

**NAVIGACIJA V LETALSTVU**

Kandidat: vv. Iztok Strgar

Mentor: por. Gaber Košir

Ljubljana, februar, 2008

## **POVZETEK**

Začetki telekomunikacij v letalstvu segajo v prva leta 20. stoletja, v leto 1910. V Franciji in Združenih državah Amerike so prvič vzletela letala, opremljena z radijskimi sredstvi. Civilno letalstvo se je začelo razvijati po prvi svetovni vojni. Leta 1919 je Marconi izdelal prvo letalsko z radijsko opremo. V drugi svetovni vojni se pojavi pomembno odkritje - radar. Američani so kmalu ugotovili, da ima govor velike prednosti pred telegrafijo. Leta 1953 je postalo jasno, da telegrafija nima prihodnosti, saj so se evropske letalske družbe začele vključevati v Severnoatlantski radiotelefonski komite z namenom uporabe VHF radijskih postaj. Konec leta 1953 se radijski opremi pridruži še selektivni klic, v isti obliki se na kratkovalovnih območjih uporablja še danes. Po vojni se razvijejo še sekundarni radarski sistemi in sistemi za pristajanje letal pri zmanjšani vidljivosti. Vzporedno z drugo generacijo potniških letal na reaktivni pogon pride v uporabo inercialni navigacijski sistem, ki omogoča zanesljivejšo navigacijo predvsem na polarnih območjih, kjer je magnetni kompas neuporaben. Končno je tu satelitska navigacija, ki je mišljena kot glavni navigacijski sistem prihodnosti. V sedemdesetih letih se pojavijo še zametki prve letalske podatkovne povezave, ki doživi množično uporabo šele v zadnjem desetletju.

**KLJUČNE BESEDE:** Navigacija, radar, nadzor, orientacija.

## **SUMMARY**

First years of the 20 century, more exactly year 1910 is the year when telecommunication started in aviation. In France and in the United States of America that year for the first time took off planes that were equipped with radio equipment. Civil aviation starts to develop after First World War. In 1919 Marconi developed first aviation radio equipment. In Second World War was very important discovery - radar. Americans soon found out that speech has significant advantage in comparison with telegraphy. In year 1953 become clear that telegraphy does not have future, because European airliner companies start to enter in North Atlantic radio-telephone committee with intention of use VHF radio devices. At the end of 1953 is new not only radio equipment but also selective call which is used in the same form on short frequency still today. After the war are developed also secondary radar systems and systems for landing planes at low visibility conditions. Parallel with second generation of turbo jet airliners became in use inertial navigation system, which provides more reliable navigation over polar caps where is magnetic compass useless. On the end we have satellite navigation which is meant as main navigational system of the future. In 70's we have also first origin of first aviation data link which became mass used in the last decade.

**KEY WORDS:** navigation, radar, surveillance, orientation.

# KAZALO

<b>POVZETEK</b> .....	<b>ii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 IZHODIŠČA ZAKLJUČNE NALOGE .....	1
1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE .....	2
1.3 METODA DELA .....	2
1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE.....	3
<b>2 OSNOVNI NAVIGACIJSKI ELEMENTI IN INSTRUMENTI</b> .....	<b>4</b>
2.1 SMER IN KOMPAS .....	4
2.2 VIŠINA IN VIŠINOMER .....	6
2.3 HITROST IN MERILEC HITROSTI .....	8
2.4 ČAS .....	10
<b>3 VIZUALNA ORIENTACIJA</b> .....	<b>11</b>
3.1 ORIENTACIJA IN ORIENTIRJI .....	11
3.1.1 Uporaba vizualne orientacije.....	12
3.2 UPORABA RAČUNSKE ORIENTACIJE.....	12
<b>4 RADIO NAVIGACIJA</b> .....	<b>14</b>
4.1 TIRNICA .....	14
4.1.1 Zahtevana navigacijska zmogljivost.....	14
4.1.2 Področna navigacija.....	14
<b>5 KLASIČNI NAVIGACIJSKI SISTEMI</b> .....	<b>16</b>
5.1 LORAN-C .....	16
5.2 NEUSMERJENI RADIJSKI SVETILNIK .....	17
5.3 VOR.....	17
5.4 DME .....	19
5.5 TACAN .....	20
5.6 ILS .....	21
5.7 INS/IRS (INERTIAL NAVIGATION / REFERENCE SYSTEM) .....	22
<b>6 NAVIGACIJA S POMOČJO SATELITSKIH SISTEMOV</b> .....	<b>23</b>
6.1 GPS.....	23
6.1.1 Osnove določanja pozicije.....	25
6.2 DIFERECIALNI GPS .....	25
<b>7 NADZOR</b> .....	<b>27</b>
7.1 NEODVISNI NADZOR-PRIMARNI NEODVISNI RADAR.....	27
7.2 NEODVISNI NADZOR S SODELOVANJEM - SEKUNDARNI NADZORNI RADAR .....	29
7.3 SISTEM OBDELAVE IN ZDRUŽEVANJA PODATKOV NADZORA.....	32
7.4 SISTEM ZA OPOZARJANJE IN PREPREČEVANJE TRČENJ V ZRAKU .....	33

<b>8 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>35</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>37</b>
<b>INTERNETNI VIRI .....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM SLIK IN TABEL .....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC .....</b>	<b>38</b>
<b>IZJAVA O AVTORSTVU .....</b>	<b>40</b>

# 1 UVOD

## 1.1 IZHODIŠČA ZAKLJUČNE NALOGE

Letalska navigacija je znanost in hkrati veščina vodenja zrakoplovov<sup>1</sup> (v nadaljevanju letala) od ene točke do druge. Njena osnovna naloga je, da z letalom pridemo v določenem času in po določeni poti na želeno mesto. Hiter razvoj letalske tehnike in potreba po letenju v vseh meteoroloških pogojih sta bila osnova za njen razvoj. Prav zaradi tega nam navigacija danes omogoča varno vodenje letal podnevi in ponoči na vseh razdaljah ter v vseh meteoroloških pogojih.

Osnovni navigacijski elementi so: smer, višina, hitrost in čas letenja. Za lažje določanje in vzdrževanje vseh elementov, letalska navigacija uporablja določena sredstva in metode. V praksi se največ uporabljajo naslednje: vizualna, računska, radio navigacija, astronomska, barična in najnovejša GPS (Global Positioning System) navigacija.

Radio navigacija je metoda navigacije, zasnovana na vodenju letal s pomočjo radijskih naprav na zemlji in v letalu samem. Samo letenje z vizualno navigacijo je nemogoče, kadar se zemeljski orientirji ne vidijo, zato si letenja v težkih meteoroloških pogojih (ponoči, na velikih višinah, nad morjem in predelih, kjer ni karakterističnih orientirjev) ne moremo zamisliti brez pomoči radio navigacijskih naprav. Razvoj teh naprav je omogočil niz sistemov, ki so zahtevali posebne navigacijske metode. Spodaj je naštetih nekaj naprav, s katerimi si danes pomagamo pri orientaciji:

- Radiogoniometer,
- radiokompas,
- VOR (Very high frekvency Omni directional Range Station),
- transponder,
- GPS in
- ILS (Instrument Landing Sistem).

Navigacijska funkcija je tista, ki nadzoruje letalo med poletom in kot taka sodeluje s senzorji letala, krmili ter motorji, medtem ko preko komunikacijskih funkcij in vmesnikov človek-stroj zagotavlja podatke/informacije posadki in kontroli letenja ter operativnim službam letalske družbe. Funkcija navigacije je prisotna pri vseh fazah poleta, vendar z različno zahtevanimi zmogljivostmi. Tako se v fazi približevanja letališču in pristajanja zahteva visoka stopnja natančnosti in integritete. V pogojih zmanjšane vidljivosti so nam v pomoč namenske zemeljske naprave kot je ILS (Instrumental Landing System - sistem za pristajanje pri zmanjšani vidljivosti).

---

<sup>1</sup> Zrakoplov je vsaka naprava, ki je sposobna leteti v atmosferi zaradi vpliva zraka, razen reakcije zraka v odnosu na zemljino površino (<http://hr.wikipedia.org/wiki/zrakoplov>).

Napredek v tehnologiji je omogočil uporabo satelitskih sistemov navigacije GPS. Pristajanje s pomočjo slednje je v nekaterih državah v manj zahtevnih pogojih že dovoljeno. V prihodnosti pa naj bi večina (tudi natančne) navigacije temeljila na satelitski.

**Hipoteza 1:** Radio navigacija letal in letališč je nujna za varnejši polet letal!

**Hipoteza 2:** Ob slabi vidljivosti in slabih vremenskih pogojih je navigacija letal omogočena in ključnega pomena za varnost letal!

## 1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

Po definiciji je navigacija način, po katerem se določi položaj ladje ali letala ter vodenje letih iz ene znane točke v drugo znano točko. Na osnovi tega lahko zapišemo, da mora funkcija navigacije omogočati:

a) določiti pot letala od ene dane točke do druge;

b) slediti tej poti, kar pomeni:

- Biti zmožen v vsakem trenutku locirati letalo z namenom,
- določiti odstopanje od načrtovane poti ter,
- definirati, kako to odstopanje popraviti.

V zaključni nalogi bom predstavil navigacijska sredstva v letalstvu ter njihov namen in uporabo v praksi. Predstavil in obdelal bom le najbolj osnovna navigacijska sredstva, ki so potrebna za točno, pravočasno in predvsem varno navigacijo letala. Iz samega namena naloge izhajajo tudi cilji naloge in sicer opredelitev navigacije tako vizualne, kakor tudi radio navigacije, satelitske navigacije in uporabo navigacijskih sredstev. Najbolj pomembno pa je, da bom skozi nalogo predstavil pomen navigacije in njeno uporabo za pilota in kontrolorja letenja.

## 1.3 METODA DELA

Ugotovitve v zaključni nalogi temeljijo predvsem na analizi sekundarnih virov.

Pri preučevanju so bile uporabljene naslednje metode:

- Z metodo analize in sinteze vsebine in interpretacijo relevantnih pisnih virov ter s historiografsko metodo kritike virov, sem analiziral dokumentacijo in ostale dostopne vire,
- s primerjalno metodo sem primerjal med seboj posamezne sisteme navigacije,
- deskriptivna (opisna) metoda, s pomočjo katere sem pojasnil temeljne pojme,
- z metodo abstrakcije pa sem izločil za nalogo irelevantne vsebine.

## 1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE

Zaključna naloga je sestavljena iz osmih glavnih sklopov. Prvi sklop predstavlja prvo poglavje, v katerem so v uvodu predstavljena izhodišča z dvema hipotezama, namen in cilji zaključne naloge, metode dela pri izdelavi naloge ter struktura zaključne naloge.

Drugi sklop vsebine zaključne naloge sem oblikoval v drugo poglavje, ki se deli na več podpoglavij. V njem sem predstavil nekatere osnovne navigacijske elemente in instrumente, kot je magnetni kompas in navedel pomen določitve smeri na letalu. V naslednjem podpoglavju sem opisal še inštrument za določanje višine in njen pomen. Nadaljeval sem s merjenjem hitrosti ter zaključil poglavje z določanjem ure in časovnih pasov.

Sledi poglavje, ki je namenjeno predvsem orientaciji, ki je zelo pomembna tudi v letalstvu, tako pri vizualnem, kakor tudi pri instrumentalnem letenju. V podpoglavjih sem podrobneje opredelil vizualno in računsko orientacijo.

V nadaljevanju sledita dva sklopa, ki sta namenjena radio navigaciji. V četrtem poglavju podrobneje predstavim samo radio navigacijo in nadaljujem s predstavitvijo tirnice. Sledita podpoglavja, kjer se najprej dotaknem potrebne specifične navigacijske opreme, ki jo zahteva ICAO (International Civil Aviation Organisation), nekaj besed sem v nadaljevanju namenil tudi področni navigaciji. V petem poglavju pa sem predstavil klasične navigacijske sisteme.

Šesto poglavje je rezervirano za satelitsko navigacijo in njen najbolj razširjen sistem GPS. Sedmo poglavje pa je v celoti posvečeno nadzoru v zračnem prostoru ter delovanju primarnega in sekundarnega radarja. Z nekaj stavki sem orisal tudi sistem za združevanje podatkov iz obeh radarjev. Na koncu na kratko omenim še sistem za preprečevanje trkov v zraku med letali. V zaključku pa poskušam še enkrat poudariti glavne vsebine naloge in jo strniti v nekaj stavkih.

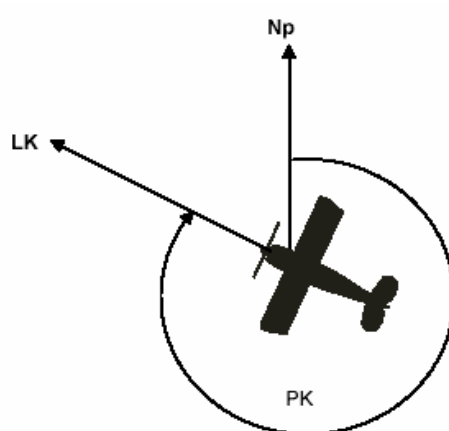


## 2 OSNOVNI NAVIGACIJSKI ELEMENTI IN INSTRUMENTI

### 2.1 SMER IN KOMPAS

Pot, v katero je usmerjena vzdolžna os letala in v kateri letalo leti, se imenuje smer. Odrejena je s kotom med vzdolžno osjo letala in severnim poldnevnikom. Meri se v smeri urnega kazalca, pišemo pa ga s trimestno številko od  $000^{\circ}$  do  $360^{\circ}$ . Smer merjena od pravega (geografskega) severa imenujemo prava smer.

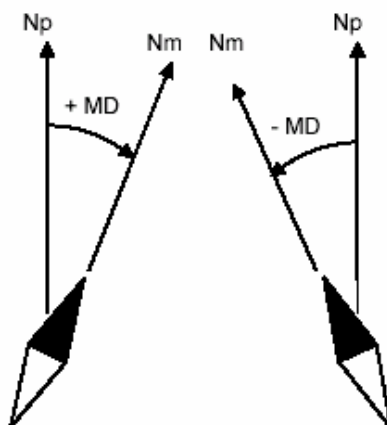
Slika 1: Prava smer



Np geografski sever  
PK azimut  
LK smer letala

Vir: Karner (2002, str. 18)

Slika 2: Magnetna deklinacija



MD magnetna deklinacija  
Nm magnetni sever  
Np geografski sever

Vir: Karner (2002, str. 18)

Magnetni kompas pilotu omogoča, da leti po želeni smeri. Poznamo več vrst kompasov, na letalu pa je obvezen le magnetni kompas. Sestavljen je iz ohišja, v katerem se na posebnem podstavku v alkoholni tekočini vrti t.i. kompasna roža. Pod magnetno rožo sta vgrajena dva magneta, s katerima kompenziramo kompas s smeri N – S (sever-jug) in E – W (vzhod zahod). Na kompasni roži je napisana stopinjska skala, na kateri se odčita smer.

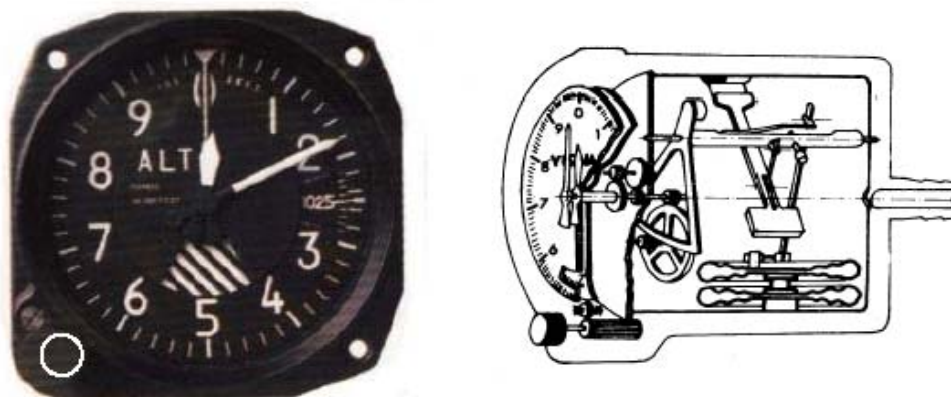
Zaradi zemeljskega magnetizma, se kompasna igla, v našem primeru kompasna roža, postavlja v smer N – S. Zemeljska magnetna pola ne ležita na istih pozicijah kot geografska pola, ampak se položaj spreminja. Zaradi tega magnetna roža ne kaže pravo smer N – S, ampak je za določen kot odmaknjena od te smeri. Ta kot imenujemo magnetna deklinacija (variation). Če se obrača proti zahodu je negativna, če pa proti vzhodu, je pozitivna. Smer, v katero se postavlja magnetna roža, imenujemo magnetni poldnevnik.

Iz navedenega lahko zaključimo, da je magnetna deklinacija kot med pravim in magnetnim poldnevnikom. Da bi bila pilotova smer natančna, mora poznati vrednost magnetne deklinacije na določenem mestu in času. Črte, ki vežejo kraje z isto magnetno deklinacijo, imenujemo izogone. Na vsaki izogoni je vpisana njena vrednost. Letna sprememba magnetne deklinacije je podana tekstovno pod karto izogon ali nekje na robu karte. Če letno spremembo deklinacije (+ 7') pomnožimo s številom let od izdaje pa do danes, potem dobimo vrednost magnetne deklinacije (Karner, 2002,17) .

Premica na kateri ležita magnetni sever in jug se ne prekriva z osjo zemljine rotacije, ki poteka skozi geografski sever in jug. Magnetni sever se nahaja na otoku Waleškega princa nad Kanado na širini približno  $80^{\circ}$  in je od geografskega severa oddaljen za približno 2000 km. Kot, ki zaradi tega nastane se imenuje magnetna deklinacija, kar sem omenil že v prejšnjem odstavku. Ta je glede na položaj na zemlji različna. Pri nas kaže magnetna igla za  $4^{\circ}$  preveč proti zahodu, v Washingtonu pa  $25^{\circ}$  vzhodno od geografskega severa.

## 2.2 VIŠINA IN VIŠINOMER

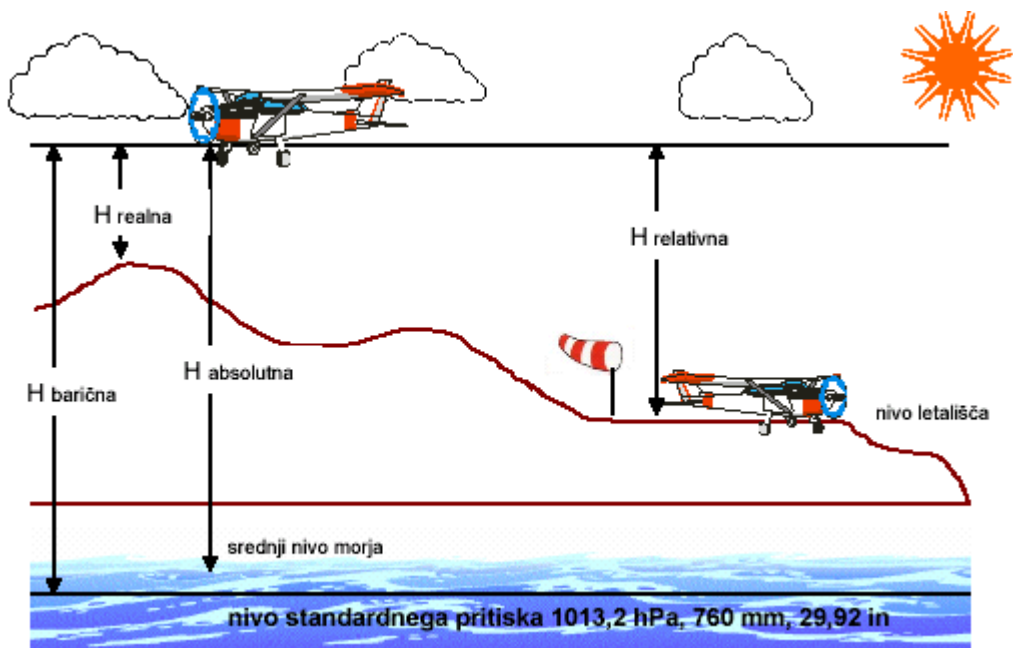
Slika 3: Višinomer s čelne strani in v preseku



Vir: Karner (2002, str. 22)

Višina leta je element varnosti, hkrati pa navigacijski element, ki vpliva tudi na ostale elemente, predvsem na hitrost leta. Višina leta se meri z vertikalno razdaljo od letala do neke točke na površini pod njim. Inštrument, s katerim to merimo se imenuje barometriški višinomer ali krajše kar višinomer. Deluje na osnovi zmanjševanja statičnega pritiska z višino enako kot barometer. Glavni del višinomera je aneroid, ki se z višino širi. To širjenje se preko mehanizma prenese na skalo v bralno obliko.

Slika 4: Višine



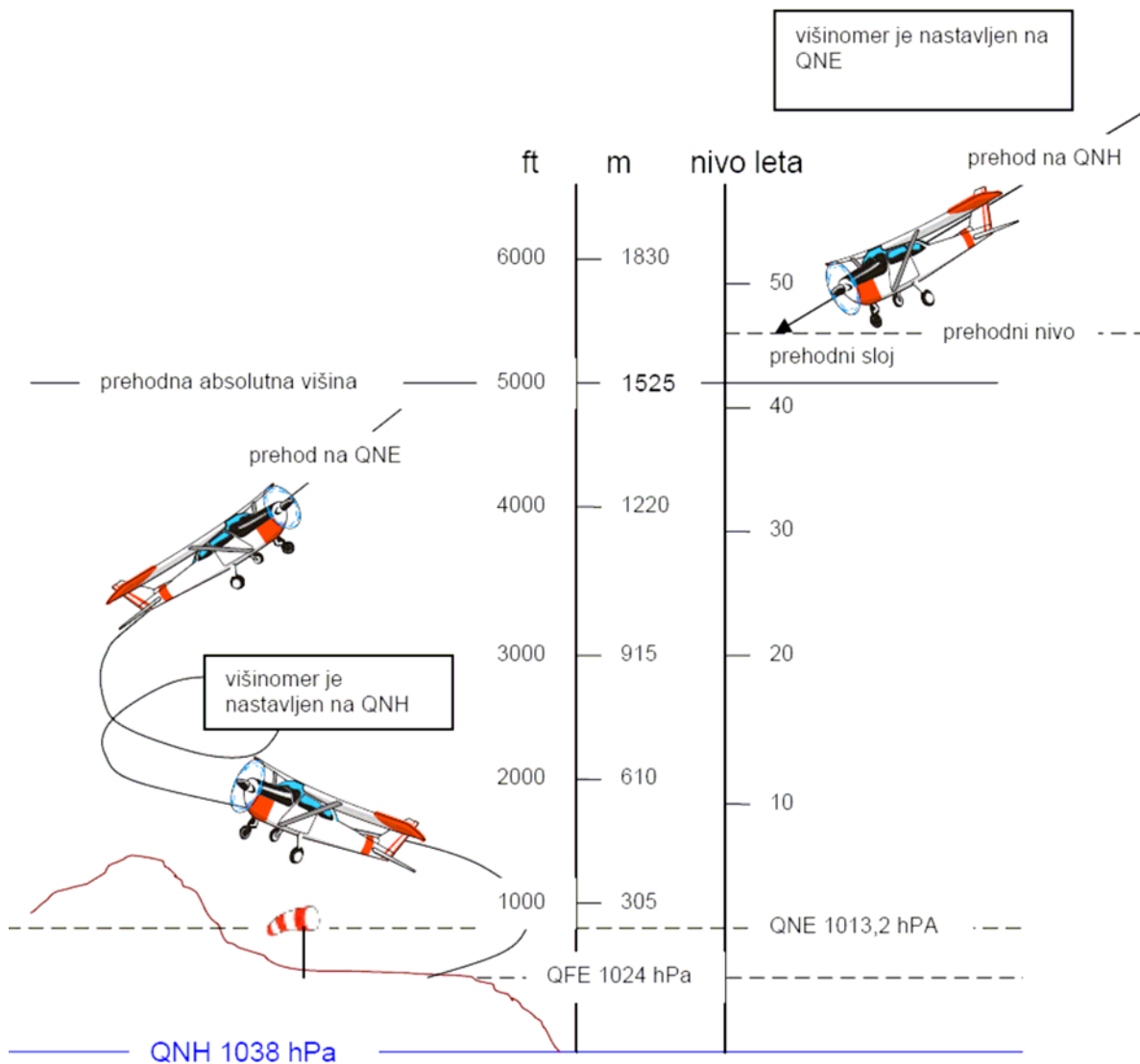
Vir: Karner (2002, str. 22)

1. Relativna višina (Height) je višina, izmerjena od tal do letala z upoštevanjem lokalnega zračnega pritiska QFE. Letalo, ki ima na letališču nastavljen višinomer na vrednost QFE, le-ta kaže vrednost 0 ft (feet-čevelj; 1 ft = 30.48 cm),
2. absolutna višina (QNH - Altitude) je višina, ki se meri od srednjega morskega nivoja, z upoštevanju lokalnega zračnega pritiska,
3. dejanska višina (elevation) je vertikalna razdalja do točke, ki jo letalo preleta; merjena je od srednjega morskega nivoja,
4. barometriška višina (QNE – FL, Flight level) se meri od nivoja standardnega pritiska, navzgor z upoštevanjem zračnega pritiska.

Pritisk se z višino zmanjšuje. Barična stopnja (gradient) je zmanjševanje zračnega pritiska za vsakih 10 metrov za 1 mm Hg stolpca. Zračni stolpec v večji višini nima veliko zraka nad seboj, zato je zrak manj stisnjen in gostota je manjša. Iz tega sledi, da je gostota zraka največja pri površini zemlje in se z višino manjša. Tudi temperatura se z višino niža. Temperaturno stopnjo (gradient) imenujemo vrednost, za katero se temperatura zniža pri povečani višini. Ta vrednost znaša  $0,65^{\circ}$  C na 100 metrov višine ali  $6,5^{\circ}$  C za 1000 metrov višine. Obe stopnji pomembno vplivata na stvarno višino.

Ne smemo pozabiti na elektronske višinomere, ki merijo stvarno višino. Delujejo tako, da letalo odda radijski signal, le-ta se od zemeljske površine odbije nazaj do letala. Izmerjeni čas elektronski instrument pretvori v višino. Ti višinomeri se največ uporabljajo za letenje letal na malih višinah in pri instrumentalnih prihodih na letališče (Karner, 2002, 23).

**Slika 5: Nastavitve višinomera**



Vir: Karner (2002, str. 24)

### 2.3 HITROST IN MERILEC HITROSTI

Hitrost je razdalja, ko jo letalo preleti v določeni časovni enoti. Merimo jo v nm/h (navtičnih miljah na uro) oz. kts (vozlih) ter v t.i. machovem številu. Ena navtična milja na uro ali en vozlel je enak 1.852 km/h, machovo število pa na nadmorski višini 0m in pri standardnem zračnem pritisku znaša približno 340 m/s.

Za reševanje navigacijskih problemov se uporabljajo naslednje hitrosti:

1. Instrumentalna hitrost IAS (Indicated Air Speed), ki se prebere iz instrumenta,
2. dejanska hitrost TAS (True Air Speed), ki je hitrost letala, s katero leti skozi zrak,
3. potovalna hitrost GS (Ground Speed), ki jo ima letalo glede na površino zemlje. Odvisna je od dejanske hitrosti in vetra.

Instrumentalna in dejanska hitrost se merita z merilcem hitrosti, potovalno hitrost pa dobimo z izračunom.

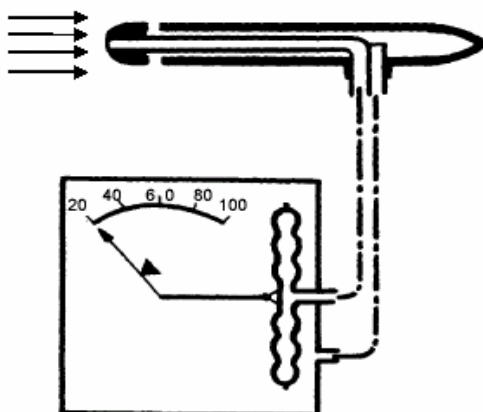
Letalo ki stoji, je izpostavljeno atmosferskemu pritisku. Imenuje se statični pritisk. Posledica trkov molekul zraka z letalom je dinamični pritisk, ki je večji od statičnega. Dinamični pritisk je pri isti gostoti zraka večji, kolikor je večja hitrost letala. Z merjenjem dinamičnega pritiska se posredno meri hitrost letala skozi zrak. Za to opravilo se potrebuje pito cev, ki je nameščena na zunanji del letala in merilec hitrosti.

### Slika 6: Merilec hitrosti



Vir: Karner (2002, str. 27)

### Slika 7: Shematski prikaz merilca hitrosti



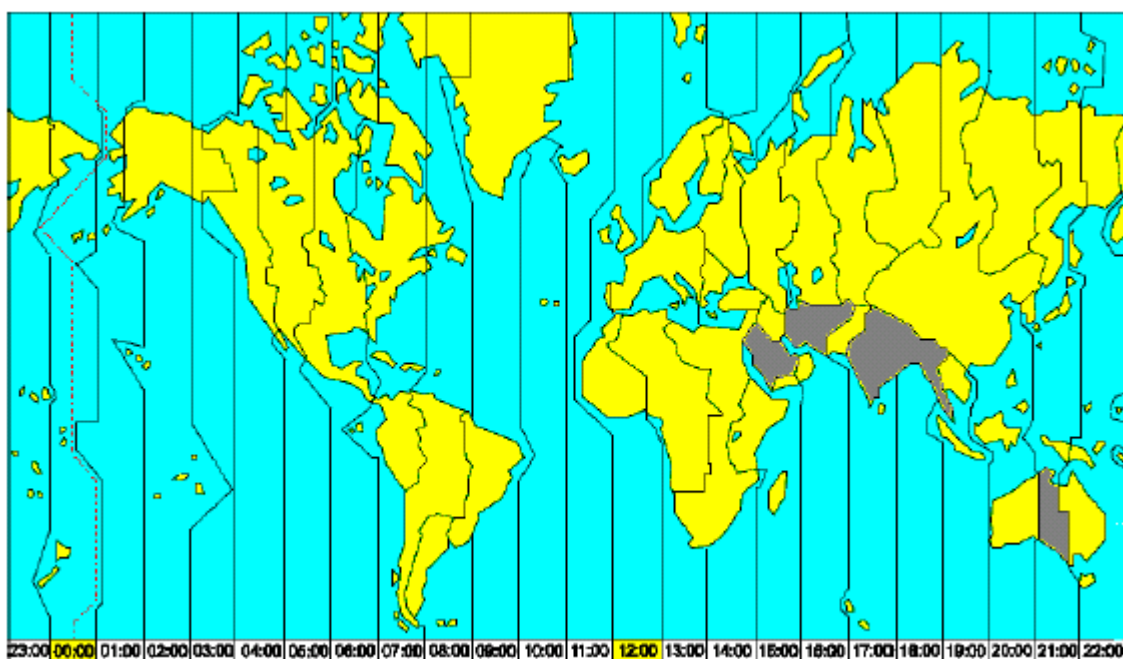
Vir: Karner (2002, str. 27)

Instrument ima dva priključka, na enega se priključi celotni tlak, na drugega pa priključimo statičnega. Širjenje aneroida je izključno odvisno od spremembe dinamičnega pritiska. Ker je gostota zraka z višino manjša, je tudi merilec hitrosti z višino manj natančen. Instrumentalne hitrosti so manjše od stvarnih. Pri velikih hitrostih pride do stiskanje zraka. To stiskanje je odvisno od hitrosti letala in od gostote zraka. Zaradi tega merilec hitrosti ne daje zanesljivih podatkov o hitrosti. Za takšne pogoje leta so izdelali merilec, ki avtomatsko popravlja spremembe stiskanega zraka in gostote.

## 2.4 ČAS

Osnova za merjenje časa sta vrtenje Zemlje okoli svoje osi in njene poti okoli Sonca. Posledica prvega sta dan in noč, drugega pa letni časi. Ljudje so že od nekdaj merili čas po Soncu. Po njegovem navideznem dnevnem gibanju so določali jutro, poldne, večer in polnoč. Tako groba delitev kmalu ni več zadoščala. Zato so sončno navidezno pot razdelili na 24 enakih delov. Štetni so začeli od polnoči (00h, 00min, 00s), ko je Sonce prešlo nasprotni poldnevnik mesta in ga končali, ko se je vrnilo na isto mesto. Tako so dobili sončni čas. Ker tak način merjenja časa velja samo za kraje, ki ležijo ob istem poldnevniku, so zemljo razdelili na 24 časovnih pasov. Vsak pas je širok  $15^\circ$  geografske dolžine, kar predstavlja eno časovno uro (Karner, 2003, 30).

**Slika 8: Časovni pasovi**



Vir: Karner (2002, str. 30)

Od poldnevnika, ki gre skozi observatorij v Greenwichu, si z enournim razmakom do datumske meje, časovni pasovi sledijo proti vzhodu in zahodu. Proti zahodu je potrebno eno uro odšteti proti vzhodu pa eno uro prišteti. Datumska meja je nasprotni poldnevnik Greenwichu. Na datumski meji je potrebno pri potovanju proti zahodu, dan ponoviti, proti vzhodu pa preskočiti. To je posledica vrtenja Zemlje okoli svoje osi od vzhoda proti zahodu. Ker pa letalo pri svojem poletu lahko preleti več časovnih pasov, se zaradi tega v letalstvu uporablja čas, ki je enak časovnemu pasu ob Greenwichu t.i. (Zulu time) ali UTC (Universal Time Coordinated). S tem je omogočeno lažje vodenje letal po zračnem prostoru.

### 3 VIZUALNA ORIENTACIJA

#### 3.1 ORIENTACIJA IN ORIENTIRJI

Orientacija je sposobnost, s katero se določa splošna in točna pozicija letala. Te sposobnosti se je potrebno naučiti in sicer s stalnimi vadbenimi leti nad različnimi kraji ob različnem času.

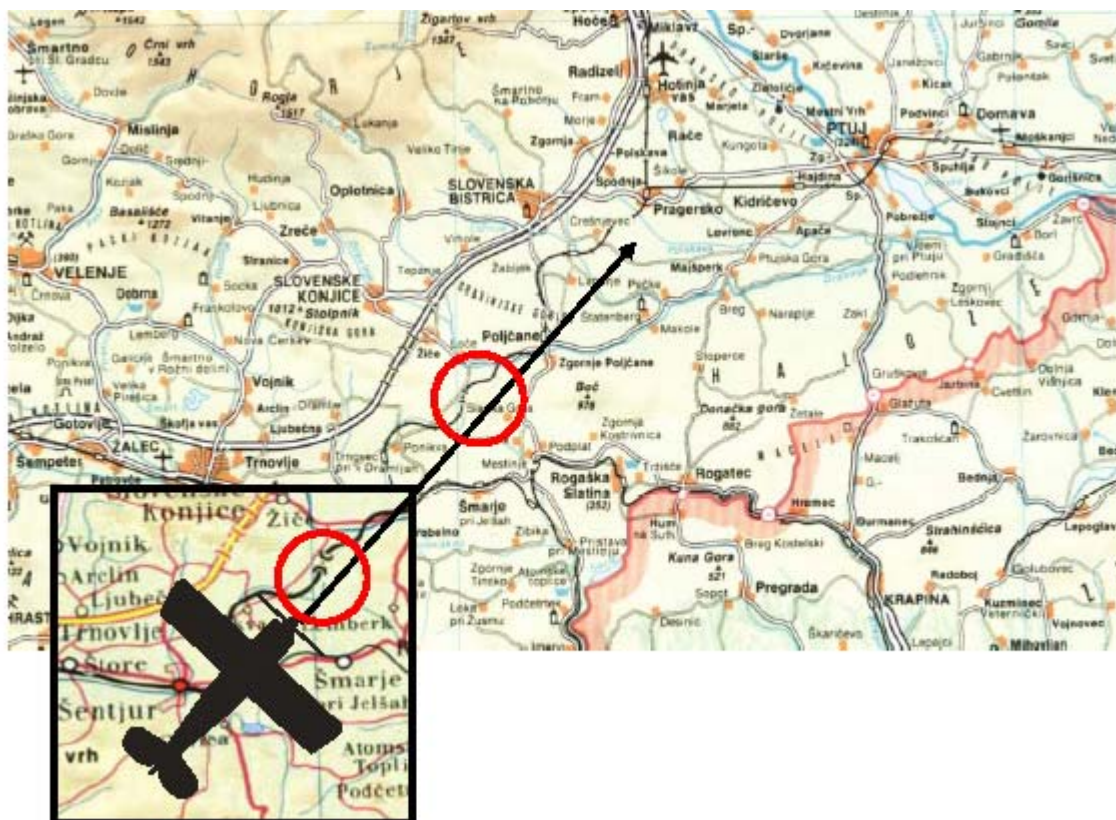
Orientirji so zelo vidni objekti na zemeljski površini. Da bi nek tak orientir lahko uporabljali za orientacijo, mora odgovarjati naslednjim kriterijem:

- Da je vrisan v karto,
- da je lahko opazen in, da se ga ne da zamenjati s katerim drugi objektom,
- da je razpoznaven preko celega leta.

Ločimo naslednje orientirje:

- Točkovne orientirje: zgradbe, mostovi, križišča, vrhovi gora, itd,
- linijske orientirje: ceste, železniške proge, reke, morska obala, daljnovodi,
- površinske orientirje: kompleks polj ali gozdov, jezera, naselja, mesta.

Slika 9: Primerjanje karte z dejanskim stanjem v naravi



Vir: Karner (2002, str. 45)



### 3.1.1 Uporaba vizualne orientacije

Vizualno orientacijo delimo na splošno in dejansko. Pri splošni orientaciji se določa prostor nad katerim se nahaja letalo (npr. Savinjska dolina), medtem ko se z dejansko orientacijo določi točna pozicija letala nad točkovnim orientirjem (železniško križišče v Zidanem mostu). Splošna orientacija se izvaja neprekinjeno, dejanska pa občasno in po potrebi.

Vizualna orientacija poteka:

- Z orientacijo karte, ki se zloži tako, da vrisana smer poti poteka vzporedno z vzdolžno osjo letala. S tem se doseže, da pilot takoj prepozna orientirje, ki ležijo levo ali desno od načrtovane poti leta in mu karte ni potrebno obračati,
- z določanje pozicije letala na širšem teritoriju, kar pomeni, da pilot prepoznava značilnosti terena nad katerim leti. Izvaja se splošna orientacija s kontrolo smeri in časa. Pri večji spremembi smeri je priporočljivo zapisati čas spremembe smeri,
- s primerjanjem vrisanih orientirjev na karti z istimi na zemeljski površini, kar pomeni, da mora pilot poznati topografske znake (Karner, 2002, 46).

Dejanska orientacija se izvaja v intervalu od pet do deset minut. Za uspešno izvedeno orientacijo se smatra, da pilot prepozna samo en orientir, ki ga bo letalo preletelo ali se nahaja bočno od smeri leta.

### 3.2 UPORABA RAČUNSKE ORIENTACIJE

Pozicija letala in zahtevana smer poti:

**Slika 10: Postopek odhoda na zahtevano smer poti**



Vir: Karner (2002, str. 46)

Pozicija letala je mesto na zemeljski površini, nad katerim se v danem trenutku nahaja letalo. Poznamo realno pozicijo, ki se določi vizualno in računsko pozicijo, ki je rezultat računske, radio, astro in inercialne navigacije. Pri metodi odrejanja pozicije z računsko navigacijo je potrebno poznati začetno točko maršrute, linijo poti, potovalno hitrost in čas letenja. Na osnovi vseh elementov je možno izračunati točko nad katero se letalo nahaja. Postopek je naslednji:

1. Na karti se označi zadnjo znano pozicijo in čas preleta le-te,
2. na osnovi kompasne smeri se od te točke vrti linija poti,
3. preletela razdalja se določi na osnovi potovalne hitrosti in časa. Tako dobljeno preračunano pozicijo se vrti v karto in na njej poišče orientirje, ki bodo pomagali določiti realno pozicijo.

Pilot nato usmeri letalo v smeri zahtevane linije po zemeljskih orientirjih, po vnaprej izračunani smeri in po radio navigacijskih sredstvih.

Letalo zaradi različnih vplivov lahko zaide iz zadane linije poti, kar povzroči, da se spremeni čas prihoda do točke javljanja ali cilja. Zato je naloga pilota, da stalno kontrolira let po smeri in po razdalji in vsako spremembo leta letala takoj popravi.

## **4 RADIO NAVIGACIJA**

Trenutno je navigacija večinoma v domeni zemeljsko baziranih sistemov, s postopnim vpeljevanjem satelitske navigacije. Navigacijski sistemi bodo razvrščeni po sposobnosti doseganja zahtevane navigacijske zmogljivosti RNP (Required Navigational Performance), katera temelji na natančnosti navigacije. Tako se bo postopoma izvedel prehod iz 2D na 3D in končno na 4D navigacijo. Vpeljava satelitskih navigacijskih sistemov in potreba po distribuciji vedno več podatkov, predvsem pri fazah približevanja in pristanka poleta ter premikih na tleh, bo postavila dodatne zahteve (povečanje zmogljivosti) komunikacijskemu omrežju. Kritična narava teh podatkov bo imela zaznaven vpliv na zahteve po varnosti in integriteti komunikacijske arhitekture.

### **4.1 TIRNICA**

Tirnica je skupek točk (geografski položaj, višina ter čas), ki definirajo načrtovano pot letala. Pri podatkih o tirnici lahko zasledimo tudi informacijo o največjem dovoljenem odstopanju in tako dobimo nekakšno cev v prostoru, kjer se bo vzdolž poleta gibalo letalo. V prihodnosti, ko bo izpiljen koncept "prostega letenja", bo prihajalo do dinamičnih pogajanj o tirnici: sistem upravljanja letenja na letalu bo izračunal optimalno (glede na čas, porabo goriva,...) štiridimenzionalno tirnico in v procesu pogajanja z računalnikom kontrole letenja na tleh (katerega naloga je ponuditi alternativo v primeru, da je predlagana v konfliktu s tirnico nekega drugega poleta) se bo dinamično izoblikovala dejanska tirnica.

#### **4.1.1 Zahtevana navigacijska zmogljivost**

Medtem, ko večina klasičnih predpisov zahteva uporabo določene specifične navigacijske opreme, je ICAO (International Civil Aviation Organisation) definirala koncept zahtevane navigacijske zmogljivosti RNP (Required Navigational Performance), brez definiranja navigacijske opreme. Za navigacijo vzdolž poti letenja je opredeljenih več tipov navigacijske zmogljivosti - RNP1, RNP4/5, RNP20, kjer številka pomeni vrednost v navtičnih miljah. Ta vrednost pomeni odstopanje (razdaljo) od načrtovanega položaja znotraj katerega se polet nahaja vsaj 95% celotnega časa poleta. V evropskem prostoru se predvideva uporaba večinoma RNP1 in RNP4/5, začasno pa zaenkrat le RNP5 zaradi omejitev današnjih navigacijskih sistemov (Požar, 2002, 67).

#### **4.1.2 Področna navigacija**

RNAV (Area Navigation) je način navigacije, ki omogoča letenje letalu na katerikoli zaželeni letalski poti (in ne le s preletavanjem zemeljskih navigacijskih pripomočkov) – oprema, ki jo podpira, mora imeti zmožnost zagotoviti navigacijsko informacijo absolutne geografske pozicije letala (ne pa samo relativne glede na zemeljske navigacijske pripomočke). Natančnost določanja tega položaja pa določa RNP. Napredni RNAV sistemi morajo zagotoviti visoko stopnjo natančnosti v 4D prostoru (lateralno, longitudinalno, vertikalno, časovno). Zasnovani so na podatkovnih komunikacijah z zemeljskimi sistemi, kjer si

izmenjujejo podatke o zahtevani (optimalni) in odobreni poti letenja, informacije o drugih letalih, meteorološke informacije, itd. V bistvu navigacijski sistem predpostavlja t.i. 3D prostor ("mehurček"), ki potuje kar se da blizu vzdolž optimalne (oz. systemske) poti letenja, s točnimi časovnimi termini, kdaj biti nad določenimi referenčnimi točkami. Naloga navigacijskega sistema je obdržati letalo znotraj tega 3D prostora.

Vsekakor zahteva implementacija takšnega sistema obstoj zelo preciznih navigacijskih vhodnih podatkov, podatkovnih povezav, primernih za časovno kritične aplikacije ter sofisticiran zemeljski del ATM (Air Traffic Management) sistema. Uspešna implementacija je tako poleg ustrezne opreme na krovu letala odvisna v veliki meri prav od razvitosti zemeljske CNS (Communications, Navigation, Surveillance)/ATM infrastrukture.

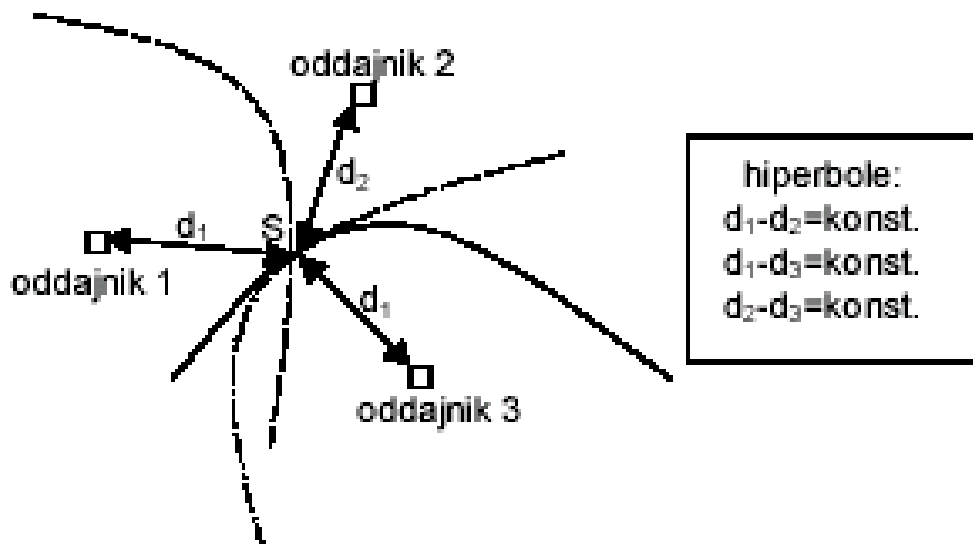
## 5 KLASIČNI NAVIGACIJSKI SISTEMI

### 5.1 LORAN-C

Sodi v skupino hiperboličnih navigacij, kateri (DECCA, OMEGA, LORAN A, LORAN C) so se uporabljali in se uporabljajo predvsem v pomorstvu in delno letalstvu. V letalstvu je danes relativno uporaben le LORAN-C (Long Range Navigation-navigacija velikega dosega), katerega ceneni in majhni sprejemniki so, kljub prodoru GPS opreme, kar popularni predvsem pri amaterskem splošnem letalstvu, zlasti v Združenih Državah Amerike. Tam je bila sicer z letom 2001 predvidena ukinitvev tega sistema, a so se ga odločili obdržati vsaj do leta 2005. Sedaj je uporaba tega sistema skoraj izkoreninjena.

Hiperbolična navigacija temelji na meritvi razlike časov (faze) signalov več referenčnih oddajnih postaj, katera nam poda enačbo hiperbole v ravnini oziroma hiperboloida v prostoru (4 potrebni oddajniki za 3D navigacijo) in s presečiščem se določi položaj sprejemnika. LORAN-C deluje na dolgovalovnem področju (110 kHz) in omogoča dokaj slabo absolutno natančnost (200 m pod ugodnimi pogoji), zato pa nekoliko boljšo relativno natančnost – ponovljivost (20 m v ugodnih pogojih). Doseg signalov je 600 do 1500 NM od oddajnih postaj.

Slika 11: 2D hiperbolična navigacija



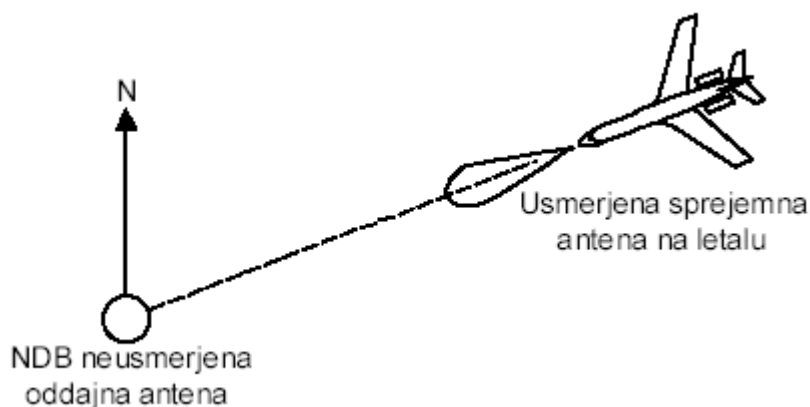
Vir: Požar (2002, str. 70)

## 5.2 NEUSMERJENI RADIJSKI SVETILNIK

NDB (Non-Directional Beacon) je sistem radijskih svetilnikov oziroma usmernikov, ki deluje na dolgovalovnem frekvenčnem področju (cca. 200-500 kHz). Svetilniki neprestano oddajajo neusmerjen signal (za kontrolo pa še svojo oznako v Morsejevi abecedi), ki ga sprejema usmerjena antena na letalu. Pilot tako letalo usmeri proti radijskemu svetilniku. Točnost smernega diagrama sprejemne antene je reda 1 kotne stopinje. Sprejemni napravi na letalu pravimo tudi radio kompas oziroma ADF (Automatic Direction Finder). Posadka lahko v sili sprejemnik naravna tudi na frekvence oddajnikov dolgo in srednje valovnih komercialnih radijskih postaj in se orientira po njih (Polenec, 1976).

NDB radijski usmerniki so še vedno v množični uporabi, čeprav je ta vsaj v Evropi v upadanju. Uporaba (čeprav relativno poceni) se bo postopno zmanjševala zaradi povečanih zahtev po natančnosti navigacije, ki jih NDB ne dosega. Po predvidevanjih se bo do leta 2008 uporaba v Evropi zmanjšala na minimum.

### Slika 12: Delovanje radijskega svetilnika



Vir: Požar (2002, str. 71)

## 5.3 VOR

- V - VHF (Very High Frequency)
- O - Omni (Omni Directional, All Directions)
- R - Range (Range)

V prostem prevodu to pomeni zelo visoko frekvenčni radijski oddajnik. VOR je v svetu zelo razširjeno navigacijsko sredstvo. Navigacija z njim ima številne prednosti pred NDB in goniometrom. Delo z VOR-om je enostavno, nastavitve sprejemnika in identifikacija sta hitrejša in lažja. Zunanje motnje sprejema elektromagnetnih valov so zmanjšane na minimum. Zaradi uporabe zelo visokih frekvenc so navigacijski podatki točnejši in bolj popolnejši. Sistem VOR sestavljata predajna postaja na zemlji in sprejemnik ter indikator VOR-a v letalu.

Vsaka oddajna postaja VOR-a oddaja signale določene frekvence v frekvenčnem področju od 112 do 118 Mhz. Radijski valovi VOR se širijo po prostoru premočrtno, podobno kot svetloba, zato je njihov doomet omejen in z višino narašča:

- Do višine 300 m je do 75 km,
- na višini 2000 m je 180 km,
- na višini 7000 m je 300 km.

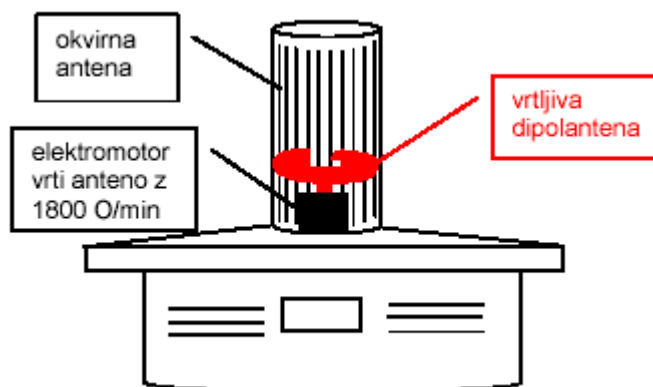
Sistem deluje glede na oddajanje dveh signalov:

- Osnovnega signala stalne faze in
- signala spremenljive faze, ki kot reflektorski snop iz središča rotira 30 obratov v sekundi.

Oddajanje vrtljive antene, ki se vrti s hitrostjo 30 O/min in frekvenčne modulacije centralne antene s 30 c/sek, ustvarjajo fazno razliko v vseh smereh.

Shematski prikaz zemeljske postaje VOR.

### Slika 13: Oddajnik VOR

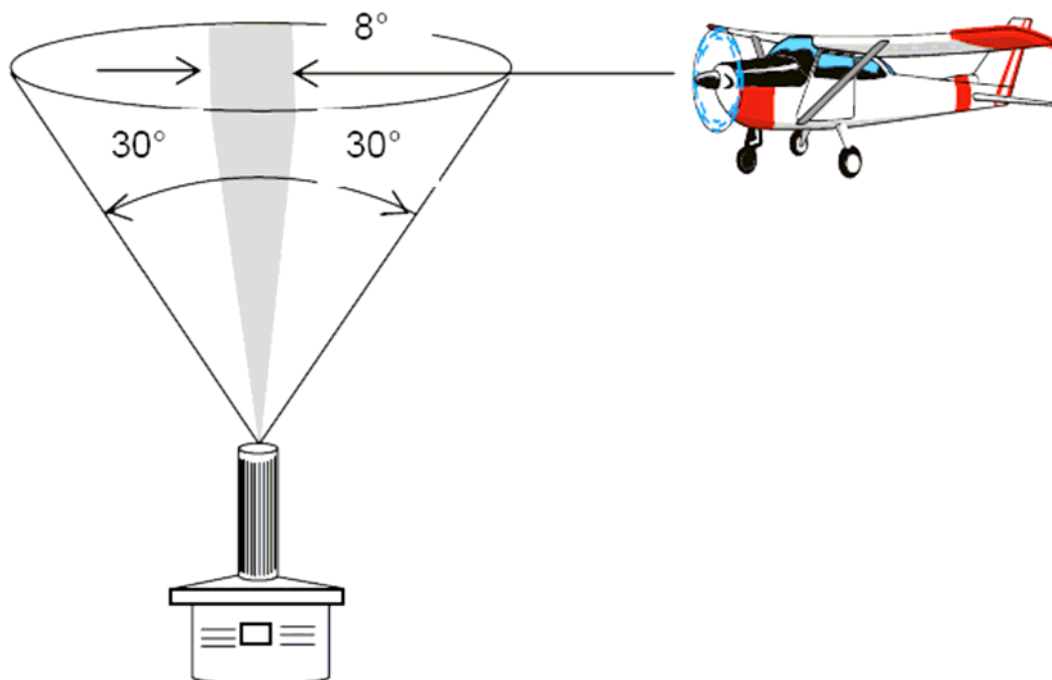


Vir: Dolšek (2006, str. 13)

S fazno razliko določimo vse magnetne smeri, to je 360 smeri. Magnetne smeri od radijskega oddajnika imenujemo radiani in ustrezajo smerem QDR, VOR smer pa enačimo z QDM. V letalu mora tako biti vgrajen sprejemnik, ki je sposoben merjenja fazne razlike. Slušni signal v Morsejevi abecedi uporabljamo samo za identifikacijo, za navigacijo pa vizualno informacijo na indikatorju VOR.

Nad oddajnikom VOR se enako kot pri NDB ustvarja konus tišine, ki pa je ožji. V njem navigacija ni možna. Zasnovan je tako, da se na indikatorju VOR zamenja pozicija TO s FROM, kar pomeni, da letalo iz faze doleta na oddajnik VOR preide v fazo odleta (Karner, 2001, 31).

**Slika 14: Konus višine**



Vir: Karner (2001, str. 32)

Sistem VOR omogoča:

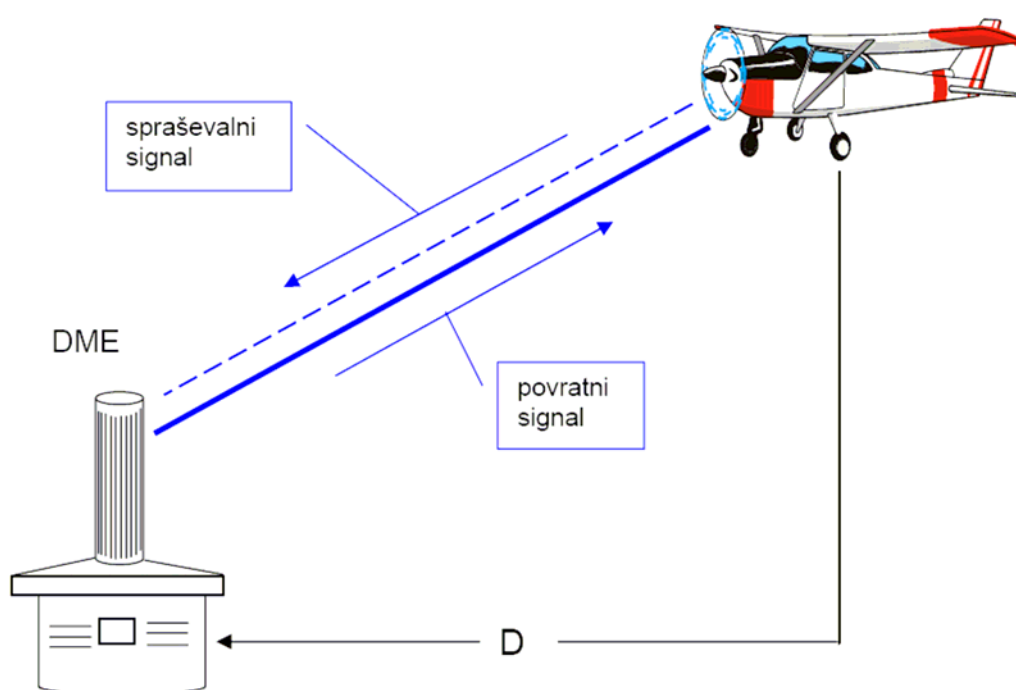
- Let proti radijskemu oddajniku ali od njega,
- letenje po zahtevanem radianu (Intercepting),
- odrejanje pozicije,
- merjenje oddaljenosti ali časa letenja do oddajnika VOR.

#### **5.4 DME**

Sistemu VOR je navadno dodan tudi sistem za merjenje oddaljenosti letala od sredstva, imenovan DME (Distance Measuring Equipment), ki pilotom zelo olajšuje navigacijo po zračnih poteh. DME deluje na področju UHF (Ultra High Frequency). Sestavljen je iz oddajnika impulzov na letalu in zemeljskega sprejemnika, ki te impulze sprejme, poveča njihovo jakost in jih vrne do letala. Naprava DME vrnjene impulze sprejme in izmeri čas, ki je pretekel od letala do zemeljske postaje in nazaj, ter ga takoj spremeni v razdaljo letala do zemeljske postaje. VOR in DME tvorita enoten navigacijski sistem, kar imenujemo sistem VOR/DME.



**Slika 15: Princip delovanja sistema DME**



Vir: Karner (2001, str. 41)

VOR/DME navigacija ustreza predpisom RNP4 (Required Navigation Performance, zahtevana navigacijska zmogljivost), med VOR/DME postajami, ki niso več kot 50 NM narazen. V Evropi je trenutno VOR/DME eno izmed glavnih sredstev navigacije, za IFR (Instrumental Flight Rules, pravila letenja po instrumentih) pa je opremljenost z VOR/DME obvezna. Vse več se bo uporabljala tiv. multi-DME navigacija z določanjem položaja glede na dve ali več DME zemeljskih postaj. Poleg obstoječih (DME-N) je predvidena uvedba še natančnejših naprav za merjenje razdalj (DME-P) (Požar, 2002, 72).

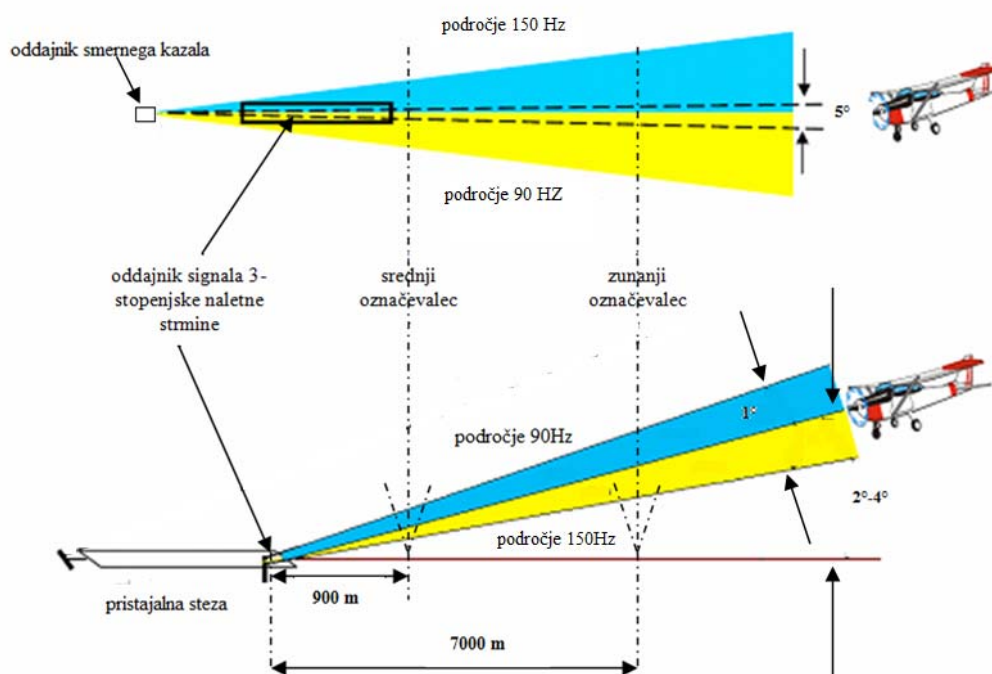
## 5.5 TACAN

TACAN (Tactical Air Navigation) je oblika navigacijskega sistema, kakršno pozna ameriška vojska, zato je osnovni navigacijski sistem vojske severno atlantskega pakta. Sistem je sestavljen iz dveh komponent; naprave za smer in naprave za merjenje razdalje. Naprava je zasnovana podobno kot VOR, le da sistem pošilja točnejše podatke o oddaljenosti in smeri, kar omogoča pilotu natančnejši let. Pilot lahko istočasno kontrolira še svojo potovalno hitrost. Sistem, za smer in oddaljenost, deluje na frekvenčnem področju UHF. Ker je to vojaški navigacijski sistem, deluje na kanalih. Oznako kanala pilot prebere z navigacijske karte. Zemeljske postaje pa so lahko tudi kombinacija civilnega in vojaškega sistema VORTAC ali VOR-TACAN.

## 5.6 ILS

ILS je pripomoček za pristajanje pri zmanjšani (ali brez) vidljivosti – sestoji iz radijskih snopov, usmerjenih po smeri VHF (108 - 112 MHz) in po višini UHF (328,6 – 335,4 MHz). Letalo, na katerem je ustrezen sprejemnik, vodi po smeri in naletni strmini. Oddajnik smernega signala oddaja dva simetrična radijska snopa, skupaj široka 5 kotnih stopinj, od tega je eden moduliran s frekvenco 90 Hz, drugi pa 150 Hz. Oddajnik signala naletne strmine prav tako oddaja dva radijska snopa. Zgornji je širok 0,375 kotne stopinje in moduliran s frekvenco 90 Hz, spodnji pa je širok 0,625 kotne stopinje in moduliran s frekvenco 150 Hz. Za oceno razdalje do letališča pa skrbita dva dolgovalovna oddajnika (zunanji in srednji označevalec) z navpično usmerjenima radarskima snopoma.

Slika 16: Delovanje sistema ILS



Vir: Požar (2002, str. 73)

Pristajanje pri zmanjšani vidljivosti (oziroma zmožnost letal in letaliških naprav) je glede na minimalne pogoje vidljivosti razdeljeno na šest kategorij (CAT I, II, III, IIIa, IIIb, IIIc). Tako je CAT-I najmanj zahtevna in zahteva 800 m horizontalne vidljivosti, pri CAT-IIIc pa je pristanek lahko izvršen brez kakršnekoli vidljivosti. Za pristanek letala si lahko pilot pomaga s pomočjo avto pilota, ki ga nato vodi po pristajalni stezi.

Na tem mestu bi lahko omenil še MLS (Microwave Landing System, mikrovalovni pristajalni sistem). Je zadeva, sorodna ILS, deluje pa na mikrovalovnih frekvencah (5 GHz). Vanj je bilo vloženi ogromno sredstev, a se nekako ni prijel (predraga oprema na letalih, ekonomsko ni bil upravičen) in vprašanje je, če bo za civilno rabo sploh kdaj operativen.

## 5.7 INS/IRS (INERTIAL NAVIGATION / REFERENCE SYSTEM)

Inercialni navigacijski/referenčni sistem je danes eden izmed poglobitnih navigacijskih sistemov v letalstvu. Sestoji iz sistema giroskopov na letalu in merilnikov, kateri merijo pospeške in nato se na podlagi vnesenega začetnega položaja letala izračuna trenutni položaj. Inercialni navigacijski sistemi imajo slabo stran, da je njihova napaka odvisna predvsem od dolžine poleta. Dovoljeno odstopanje je približno eno navtično miljo na uro letenja. Novejši INS/IRS sistemi imajo namesto mehanskih, laserske giroskope in tudi ustrezno zmogljivo računalniško podporo, kot je FMS oziroma FMGS (Flight Management and Guidance System, sistem za vodenje in upravljanje letala). To je pilotski interaktivni sistem, ki skrbi za navigacijo, optimizacijo zmogljivosti, vodenje avtopilota, uravnavanje potisne sile motorjev, samodejno izbiro radijskih navigacijskih naprav, vodenje krmil, izračunavanja hitrostnih omejitev, vodenje prikazovanja informacij na zaslonih, itd (Thaler, 1989, 28).

Tako pilotom ni treba ročno vnašati izhodiščnega položaja (tukaj je včasih prišlo do tragičnih napak), ampak ga računalnik zazna iz danega načrta poleta in pripadajoče baze podatkov. Pilot pove računalniku le, da bo letel npr. iz Ljubljane v Pariz in sedaj računalnik predvideva, da se nahaja na letališču Ljubljana (Jožeta Pučnika) ter v svoji bazi podatkov poišče geografske koordinate referenčne točke tega letališča. Korekcija zaradi tega, ker se letalo ne nahaja točno v tej točki, se kasneje, tik pred vzletom (na osnovi podatka o geografski poziciji vzletne steze), izvrši samodejno. Obstaja pa tudi možnost korekcije napake med poletom, če so na voljo natančnejši podatki iz drugih navigacijskih sistemov.

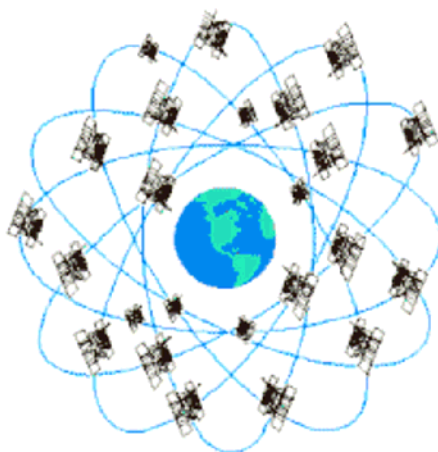
## 6 NAVIGACIJA S POMOČJO SATELITSKIH SISTEMOV

### 6.1 GPS

Sodi k GNSS (Global Navigation Satellite System, globalni sistem satelitske navigacije) sistemom, ki so splošnejši pojem. GPS je satelitski navigacijski sistem, ki ga sestavlja okoli 24 MEO (Medium Earth Orbit, vmesne zemeljske tirnice) satelitov na višini cca. 22.200 km v šestih orbitalnih ravninah z naklonom 55 stopinj. Deluje na principu meritve zakasnitve oz. Dopplerjevega pomika frekvence. Za določitev položaja v 3D prostoru rabimo tako štiri satelite.

Radio navigacijska oprema na krovu satelita obsega radijske svetilnike, ki oddajajo navigacijske signale (položaj satelitov, čas oddaje, točnost ure, itd.), uporabnik pa potrebuje le ustrezen sprejemnik. Visokofrekvenčni nosilci (L2 - 1227,6 in L1 - 1575,42 MHz, enaki za vse satelite) se modulirajo fazno (0/180 stopinj) z znanimi psevdonaključnimi zaporedji PNS (Pseudo Noise Sequence) in CDMA (Code Division Multiple Access, kodno porazdeljen so dostop) (Požar, 2002, 74).

**Slika 17: Razporeditev satelitov**



Sateliti v sistemu GPS služijo kot znane točke, katerih položaj v vesolju je v vsakem trenutku natančno določen. Razdalje do satelitov sistema GPS določamo z merjenjem časa, ki ga signal GPS potrebuje od vsakega posameznega satelita do sprejemnika.

Vir: Karner (2001, str. 43)

Sprejemnik najpogosteje izračuna vektor položaja uporabnika iz izmerjenih zakasnitev modulacije in vektor hitrosti iz izmerjenih Dopplerjevih pomikov. Vsak satelit običajno oddaja tri signale: PNS zaporedje C/A (Coarse Acquisition) se oddaja na nosilcu L1 in ima kratko periodo ponavljanja (1ms) in hitrost 1,023 Mbit/s. Omogoča začetno sinhronizacijo in grobo navigacijo za manj zahtevne uporabnike. PNS-P (Precision) zaporedje pa se oddaja na obeh nosilcih (kar omogoča popravljanje ionosferskih pogreškov) z desetkratno hitrostjo C/A oddaje (10,23 Mbit/s) in ima zelo dolgo periodo ponavljanja (1 teden). Uporabniški sprejemnik sinhronizira svoj lastni PNS generator na prihajajoči signal tako, da s ponovno fazno modulacijo 0/180 izniči fazno modulacijo na signalu in pasovna širina signala se tedaj skrči za več velikostnih razredov. Koristni signal, ki vsebuje le še navigacijske podatke (50 bit/s), prikaže - ozko frekvenčno sito.

Sistem GPS je bil načrtovan pred približno 25 leti. Takrat so se načrtovalci odločili za dve vrsti oddaje s satelitov: C/A in P. Prva naj bi bila na nosilcu L1 dostopna tudi civilnim uporabnikom in bi jim omogočala točnost določanja položaja okoli 100m. Vojaški uporabniki pa naj bi z uporabo obeh vrst signalov na obeh frekvencah dosegli desetkrat boljšo točnost položaja. Izpopolnjeni civilni sprejemniki pa so za sam C/A signal dosegali podobno natančnost kot vojaški in tako se je z uvedbo druge generacije GPS satelitov ameriška vojska odločila, da ostalim uporabnikom omeji natančnost določanja položaja. Postopek omejevanja dostopa S/A (Selective Availability) temelji na dodajanju namernih napak v navigacijske signale, pooblaščenim uporabnikom pa dobijo tablice popravkov. Tako "pokvarjeni" signali naj bi omogočali točnost reda 100m in 1m/s. Tak režim je veljal okoli deset let, sredi leta 2000 pa so ga pod dolgoletnim pritiskom ameriške javnosti ukinili in tako je spet možna uporaba neokrnjenega sistema (Vidmar, 2000, 41-42).

**Slika 18: Prikaz navigacije z GPS-om**



Vir: <http://cockpitgps.com>

Z uporabo navigacijskega sistema GPS lahko pilot letala, na daljši razdalji leta, leti v bolj ravni smeri med dvema letališčema.

**Slika 19: Pilotska kabina**



Vir: <http://cockpitgps.com>

Z GPS sprejemnikom v pilotski kabini ima pilot na razpolago v vsakem trenutku podatek o natančni poziciji letala, hkrati pa mu GPS pomaga držati smer letala.

### 6.1.1 Osnove določanja pozicije

Obstajajo različne metode določanja pozicije z GPS-om. Izbira metode je odvisna od želene natančnosti in vrste uporabljenega sprejemnika. Razlikujemo tri glavne tehnike določanja položaja:

- **Avtonomno določanje pozicije**, ko uporabljamo en sam sprejemnik - za točnosti pod 100 m (civilna raba) oziroma pod 20 m (vojaška raba),
- **diferencialni GPS**, znan tudi kot DGPS, za točnosti od 0,5 do 5 m - za, pomorsko navigacijo,
- **diferencialno merjenje faze**, za najvišje točnosti od 0,5 do 20 mm - za geodetske meritve, nadzor strojev...

Slika 20: Način merjenja



Vir: Karner (2001, str. 44)

## 6.2 DIFERECIALNI GPS

Natančnost GPS sistema lahko izboljšamo, če upoštevamo storjeno napako in jo sproti popravljamo. Z uporabo dodatnih zemeljskih referenčnih sprejemnih postaj znanega položaja lahko izmerimo odstopanje satelitskih signalov in s tem popravimo točnost določanja položaja za več velikostnih razredov (tipična natančnost cca 5 – 10m). Popravki se prenašajo (difuzija) preko radijskih oddajnikov (dolgovalovno področje, 285 – 325 kHz, MSK (Minimum Shift Keying) modulacija, hitrost običajno 100 ali 200 bd). Ponavadi se preverja tudi integriteta satelitskih signalov in se uporabnika lahko opozori, da s signalom iz satelita nekaj ni v redu.

Slika 21: Diferencialni GPS



Vir: Požar (2002, str. 76)

Za sprejem DGPS signalov potrebujemo ustrezeni dodatni sprejemnik ter povezavo z GPS napravo ali pa je vse skupaj vsebovano že v samem GPS/DGPS sprejemniku. Omenjeni način difuzije seveda ni edini mogoč. Tako so npr. pri VDL-4-(VHF data link - VHF podatkovna povezava) predvideli možnost posredovanja korekcijskih podatkov, kjer mreža VDL-4 zemeljskih postaj zbira in preračunava podatke o GNSS integriteti (GRAS, GNSS Regional Augmentation System, GNSS regionalno izboljšani sistem).

## 7 NADZOR

Nadzor obsega tiste sisteme, ki zagotavljajo identifikacijo in natančno informacijo o položaju letala, zemeljskih vozil ter ne sodelujočih objektov (meteoroloških balonov, vremenskih pojavov,...) kakor tudi distribucijo teh podatkov preko komunikacijskih sistemov. Nadzor bo v bližnji prihodnosti okarakteriziran z mešanico letečih ADS (Automatic Dependent Surveillance-Samodejni odvisni nadzor), ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast-samodejni odvisni nadzor, difuzija) in zemeljsko baziranih funkcij s povečano funkcionalnostjo SSR-S (Secondary Surveillance Radar-sekundarni nadzorni radar), ki so komplementarne ali pa nadomeščajo obstoječe zemeljsko bazirane sisteme (primarne in sekundarne radarske sisteme). Prišlo bo tudi do spremembe distribucije in prenosa podatkov teh storitev (način "S", SATCOM ter obstoječe VHF storitve). Tudi izmenjava radarskih podatkov med ATC (Air Traffic Control-kontrola letenja), državami ter civilno in vojaško domeno se bo precej povečala v prid izboljššanemu prikazu situacije v zraku.

Prevladujoča tipa nadzornih sistemov sta danes neodvisni nadzor IS (Independent Surveillance-Neodvisni nadzor) in neodvisni nadzor s sodelovanjem CIS (Co-operative Independent Surveillance-neodvisni nadzor s sodelovanjem). Pri samodejnem odvisnem nadzoru ADS, ki je v razvoju, se je treba zavedati, da ima praktično več lastnosti aplikacije kot nekega otipljivega sistema. Takih aplikacij, ki koristijo tako komunikacijske, navigacijske kot tudi nadzorne storitve je vse več in tudi po tej poti vse kaže k splošnemu zlivanju tehnologij.

### 7.1 NEODVISNI NADZOR-PRIMARNI NEODVISNI RADAR

Tu gre za odboj radijskega signala od odbojne površine letečega objekta. PSR (Primary Surveillance Radar, primarni nadzorni radar) sestoji samo iz zemeljskega dela, torej ne potrebuje dodatne opreme na letalih. Trenutno je široko uporabljen predvsem v fazah vzleta, približevanja in pristajanja (natančno približevanje s pomočjo radarskega vodenja v pogojih zmanjšane vidljivosti – do 2 NM pred vzletno-pristajalno stezo), medtem ko se njegova uporaba vzdolž osrednjega dela letalske poti postopoma zmanjšuje in postavitve novih primarnih radarjev v ta namen niso predvidene. Vsekakor pa ostaja edino primerno orodje za zaznavo ne sodelujočih letečih objektov (brez aktivnih oddajnikov na krovu) ali pa vremenskih pojavov. V domeno neodvisnega nadzora spadajo tudi radarji za nadziranje premikov na tleh (letališču).

Slabosti PSR sistemov so, poleg same težavnosti fizične postavitve (primerne lokacije), omejen domet posameznega radarja, natančnost, ki z oddaljenostjo upada, na voljo sta le podatka o azimutu in oddaljenosti tarče, pa tudi čas osvežitve podatkov je omejen s hitrostjo vrtenja radarske antene. Postavitve, uporaba in vzdrževanje radarjev je relativno draga. Tipične oddajne moči PSR je okoli 25 kW.

Poglejmo si izvleček značilnih tehničnih specifikacij za PSR:

Doseg naj bo od 0,5 NM do najmanjšega dosega, danega za podano hitrost vrtenja antene in radarske površine tarče:



**Tabela 1: Doseg PRS**

Hitrost vrtenja antene (obr./min.)	Radarska površina tarče (m <sup>2</sup> )	Doseg radarja (NM)
12	1	80
12	2	100
15	1	60
15	2	80

Vir: Požar (2002, str. 82)

- Od horizonta radarja do najmanj 40 stopinj elevacije,
- omejen z višino najmanj 28000 čevljev (FL 280),
- zagotoviti mora informacijo o vseh tarčah v enem 360 stopinjskem obratu,
- zaželeno je tudi zaznava tarč, oddaljenih manj kot 0,5 NM,
- deluje naj na L mikrovalovnem področju,
- kanal za zaznavo vremenskih pojavov naj ima ločen.

Pokrivanje nizkih višin naj bo sledeče:

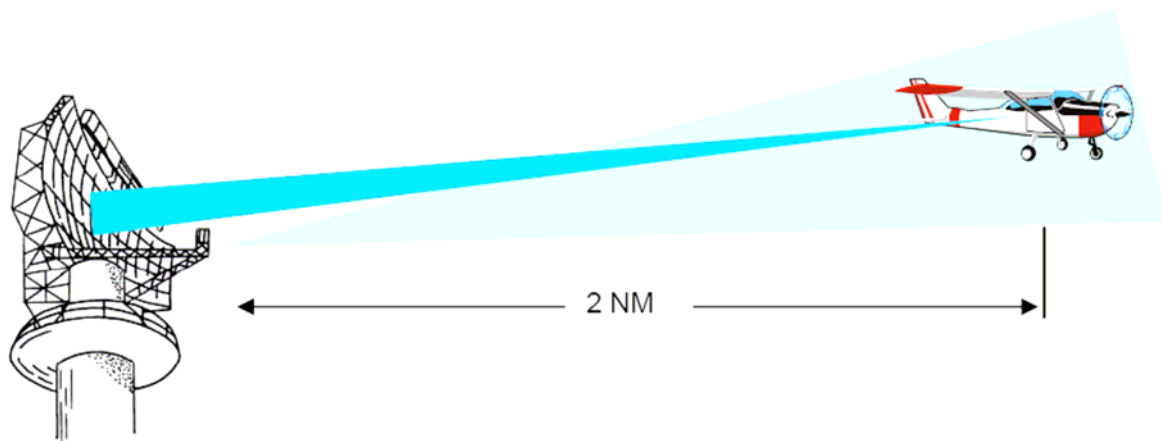
**Tabela 2: Doseg PSR na nizkih višinah**

VIŠINA POKRIVANJA	DOSEG RADARJA
do tal	do RHD ali 15 NM, kar je več
do 2000 ft	od RHD oz. 15 NM do 40 NM
do 5000 ft	od 40 do 50 NM
do 6000 ft	od 50 do 60 NM
do 7000 ft	od 60 do 70 NM
do 10000 ft	od 70 do 80 NM

(RHD, Radar Horizont Distance) je razdalja do horizonta radarja

Vir: Požar (2002, str. 83)

**Slika 22: Sistem delovanja radarja**



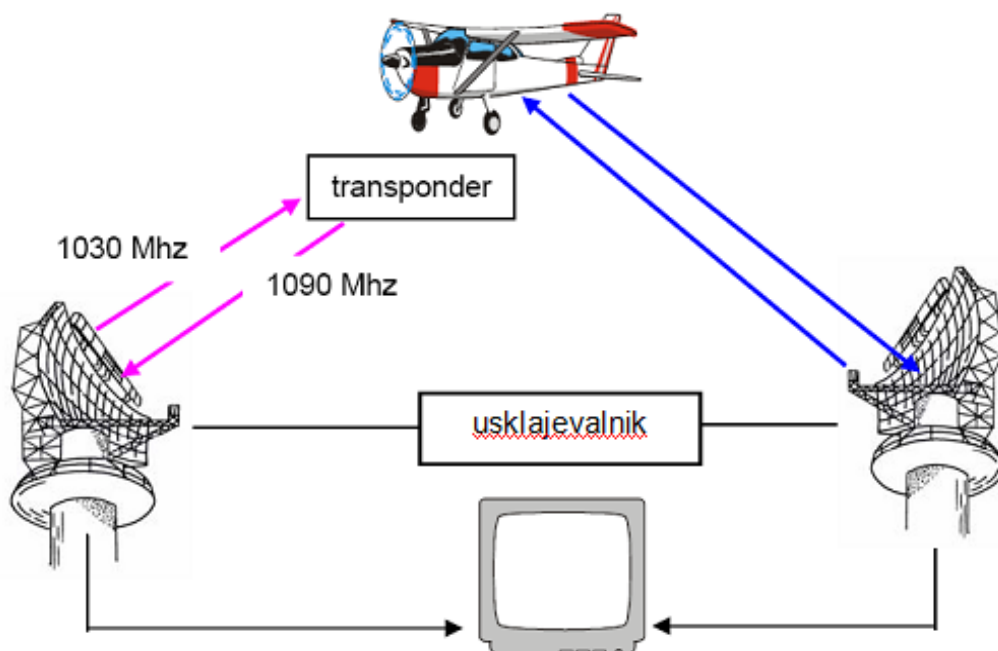
Vir: Karner (2001, str. 48)

## **7.2 NEODVISNI NADZOR S SODELOVANJEM - SEKUNDARNI NADZORNI RADAR**

Sekundarni nadzorni radar SSR (Secondary Surveillance Radar) je trenutno daleč najpomembnejši pripomoček nadzora v letalstvu. Bistvo sistema je lokacija in identifikacija letala. Večinoma je uporabljen v kombinaciji in sinhronizaciji s primarnim nadzornim radarjem. Medtem, ko so tarče primarnega radarja vsi leteči objekti, od katerih se oddano elektromagnetno valovanje odbija, so tarče sekundarnega radarja le letala z delujočimi posebnimi oddajniki – transponderji, ki so obvezni del opreme praktično vsakega letala.

Zemeljski del antenskega sistema sestoji (poleg antene primarnega radarja, če sta integrirana) iz usmerjene ter vsesmerne antene. Namen usmerjene antene je oddaja zasliševalnih in sprejem impulzov odgovora. Vsakemu letalu, ki ima delujoč transponder, kontrola letenja dodeli posebno SSR kodo, s katero se letalo identificira in jo pilot pred vzletom vnese v transponder. Ta koda ni vezana striktno na letalo, ampak na trenutni načrt poleta in je štirimestno število v osmiškem formatu ("squawk" v letalskem žargonu), torej je možnih 4096 kombinacij. Oddaja te kode ustreza načinu "A" delovanja sekundarnega nadzornega radarja. Delovanje v načinu "C" je podobna zadeva – ko dobi transponder zahtevo za način "C", odda podatek o višini letala. Ta je pridobljen iz barometriškega višinomera letala in se preko vmesnika samodejno pretvori v številsko obliko, primerno za oddajo.

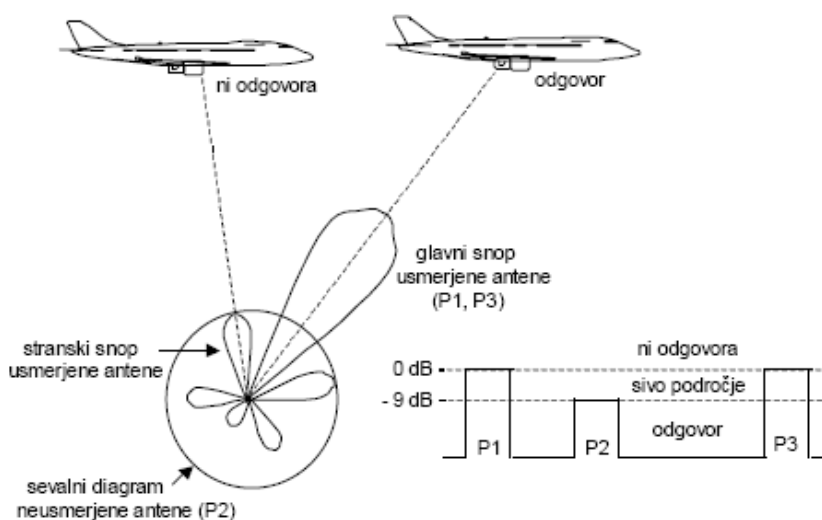
Slika 23: Delovanje sistema SSR



Vir: Karner (2001, str. 49)

Usmerjena antena SSR radarja se vrti in oddaja zahteve po »A« in »C« načinu informacije na sledeči način. Najprej odda impulz P1, nato vsesmerena antena odda (precej šibkejši) impulz P2, usmerjena antena pa (z ustrezno zakasnitvijo, odvisno od zahtevane informacije – A ali C) še impulz P3. Če transponder na letalu sprejme impulz P2 velikostnega reda ostalih dveh impulzov, bo vedel, da ni v glavnem snopu usmerjene antene in ne bo odgovoril. Le, če je impulz P2 dovolj šibak v primerjavi z ostalima dvema, bo oddajnik na letalu poslal nazaj odgovor.

Slika 24: Potlačitev transportnih snopov



Vir: Požar (2002, str. 84)

Odgovor je sestavljen iz dveh začetnih impulzov, razmaknjenih 20,3  $\mu$ s ter iz dvanajstih (4 x 3) podatkovnih impulzov (širokih po 0,45  $\mu$ s). Identifikacijska koda in višina letenja pa se kontrolorju izrišeta na zaslonu poleg sledi primarnega radarja. Če kontrolor to zahteva, lahko pilot s pritiskom na gumb odda še posebni identifikacijski impulz ("squawk ident"), ki začne 4,35  $\mu$ s po drugem začetnem impulzu in traja 20 sekund, povzroči pa posebej ojačano sled na kontrolorjevem radarskem zaslonu. Zasliševanja potekajo na 1030 MHz, odgovori pa na 1090 MHz.

Načinov delovanja SSR radarjev je, poleg omenjenih "A" in "C" (oziroma "3/A" in "3/C") še cel niz. Razlike so predvsem pri načinu zasliševanja (razdalje med impulzi) ter kodiranju odgovorov. Pri naprednejših različicah pa so tako zasliševanja kot odgovori kompleksnejši.

**Tabela 3: Načini delovanja SSR**

SSR način delovanja	mode – 1	mode – 2	mode – 3/A	mode – 3/C	mode – 3/B	mode – 3/D	mode – 4	mode – 5	mode – S
<b>Uporaba</b>	vojaška	vojaška	skupna civilna, vojaška	civilna	civilna	civilna	vojaška	vojaška	civilna
<b>Namen</b>	id. tipa letala oz. bojne naloge	identifikacija letala (IFF)	identifikacija poleta (ATC)	višina (FL) letenja	identifikacija poleta (redkeje uporabljena)	nedefinirana	varni vojaški kriptirani način	najnovejši vojaški način, dodatne možnosti	selektivna identifikacija, dodatne možnosti
<b>Zasliševanje (razmik med P1 in P3)</b>	3 $\mu$ s	5 $\mu$ s	8 $\mu$ s	21 $\mu$ s	17 $\mu$ s	25 $\mu$ s	več impulzno zasliševanje	kompleksnejše zasliševanje	kompleksnejše zasliševanje

Vir: Požar (2002, str. 85)

Ena izmed prednosti sekundarnega radarja je tudi, da omogoča zaznavo letal iz kompozitnih materialov (če so ustrezno opremljena), ki lahko primarnemu radarju uidejo. Poleg dodeljenih SSR kod obstajajo še posebne: 1200 predstavlja letalo, ki leti po pogojih vizualne navigacije (običajno manjša športna letala). Če pilot med poletom vnese kodo 7500 pomeni, da je bilo letalo ugrabljeno, 7600 pomeni okvaro radijske postaje ter 7700 splošno nevarnost.

Težave pri sekundarnem radarju so, podobno kot pri primarnem, omejen doomet, osveževanje podatkov, omejeno s hitrostjo vrtenja antene, natančnost, ki upada z oddaljenostjo od tarče. Poleg tega so tu še tipične težave, ko zaslišuje več sosednjih zemeljskih postaj hkrati ("overinterrogation"), situacija, ko se dve bližnji letali odzoveta na isto zasliševanje ("garbling") in situacija, ko zemeljska postaja sprejme signal z letala, ki ga ni zahtevala – zahtevo je sprožila neka druga, sosednja zemeljska postaja ("fruit"). Tudi samo število kod (4096), ki so na voljo, ni dovolj za področja z gostim prometom. Zaradi teh omejitev SSR način A ni primeren za predvideno gostoto prometa v Evropi v prihodnjih letih.

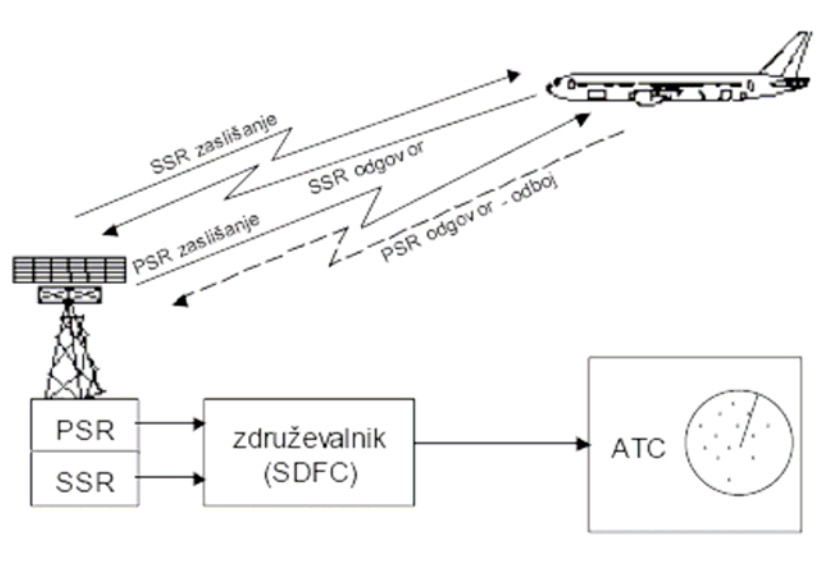
Tehnične specifikacije pravijo, da naj bo SSR po možnosti integriran s primarnim radarjem. Doseg naj bo vsaj 256 NM pri hitrostih vrtenja 6,12 ali 15 obr/min, od horizonta radarja pa najmanj do 40 stopinj elevacije, ter omejen z višino najmanj 60000 čevljev (FL 600). Tipične oddajne moči SSR se vrtijo okrog 2,5 kW za zemeljske postaje in 200 – 1000 W za leteče transponderje.

### 7.3 SISTEM OBDELAVE IN ZDRUŽEVANJA PODATKOV NADZORA

Za pravilno in učinkovito delovanje potrebujejo radarski sistemi še precej pomožnih podsistemov za obdelavo podatkov, nadzor delovanja, nadzor zmogljivosti, itd. Omenil bom le enega izmed najpomembnejših, sistem obdelave in združevanja podatkov nadzora SDFC (Surveillance Data Filter And Combiner).

SDFC opravlja funkcije filtriranja, PSR/SSR združevanja, sledenja tarč in generiranja ter prenosa obdelanih izhodnih radarskih podatkov za potrebe enot kontrole letenja. SDFC je lahko implementiran kot samostojna enota ali pa so njegove funkcije porazdeljene po PSR/SSR sistemu.

Slika 25: Združevanje PSR in SSR podatkov



Vir: Požar (2002, str. 86)

Zmožnost sledenja tarčam si lahko predstavljamo kot neko dodatno filtriranje podatkov, ki še poveča njihovo zanesljivost in integriteto. Na tem mestu se lahko tudi izvečejo podatki o hitrosti, višini, smeri letala, itd., za izboljššan pregled ter nadaljnjo obdelavo kontrole letenja.

SDFC mora biti zmožen združevati podatke iz PSR in SSR radarja in sicer naj bo verjetnost asociacij vsaj 95%, verjetnost napačne asociacije pa največ 0,1%. Zmogljivost obdelave naj bo 600 letal v enem pregledu celotnega prostora (360 kotnih stopinj) oziroma pri konicah gostote v velikih sektorjih do 40 letal na 11,25 kotne stopinje (1/32 celotnega pregleda) in konicah gostote v majhnih sektorjih do 20 letal na 2,8125 kotne stopinje (1/128 celotnega pregleda). Odziv pri preobremenjenosti v situaciji preobremenjenosti s podatki naj se najprej izločijo vremenski podatki in šele nato, če je sistem še preobremenjen, se postopoma začne zmanjševati doseg radarjev. Zaželeno je tudi "pametno" zmanjševanje preobremenjenosti, z izločanjem po manj pomembnih kotnih sektorjih v kombinaciji z izločanjem po višini.

Prenos podatkov – sistem naj bo zmožen prenašati podatke kontroli letenja v ASTERIX formatu. ASTERIX (All-purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange) je standardni format sporočil za prenos in izmenjavo radarskih podatkov, ki ga je definirala

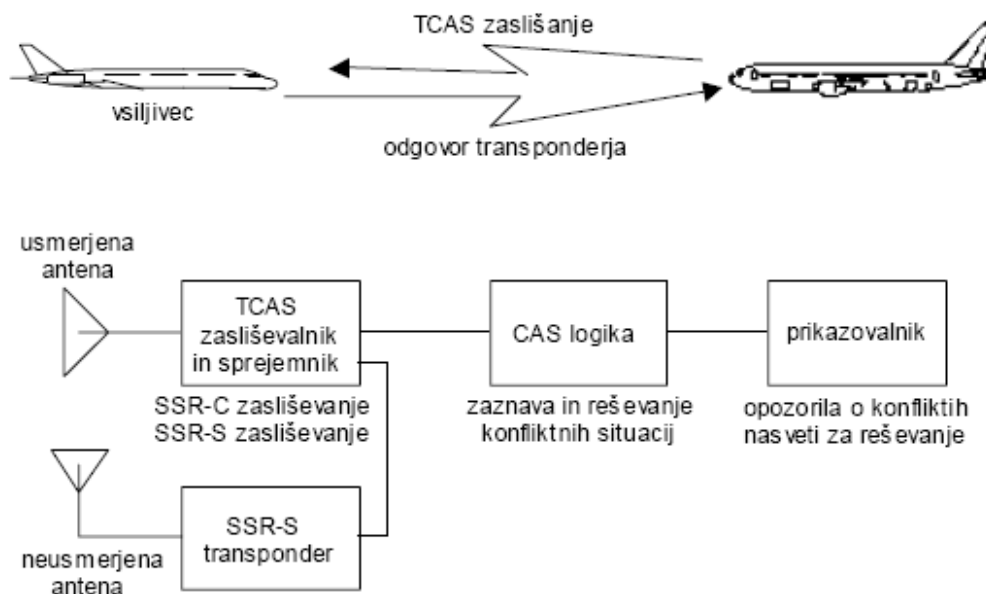
organizacija Eurocontrol. Poleg ASTERIX sporočil so danes v uporabi še druga, običajno proizvajalčeva (npr. standardna sporočila proizvajalca Ericsson).

Zakasnitev pri obdelavi – to je skupni čas obdelave od trenutka radijske osvetlitve tarče pa do prenosa k kontroli letenja. Skupni čas obdelave in prenosa od trenutka osvetlitve tarče pa do trenutka predstavitve na operativnih zaslonih kontrole letenja naj ne bo večji od dveh sekund. Ob pojavu novih virov informacij nadzora (ADS, ADS-B,...) je seveda potrebno ustrezno združevanje in obdelava podatkov vseh virov, z namenom prikaza ene same, koherentne slike stanja zračnega prostora. To združevanje in prikaz sta ena izmed ključnih aktivnosti na področju razvoja CNS. V Evropi je takšen projekt ARTAS ATM (Surveillance Tracker And Server System, ATM nadzorni sledilni in strežniški sistem), ki je zasnovan kot sistem obdelave podatkov nadzora in vključuje najnovejše prijeme obdelave nadzornih (radarskih) podatkov različnih virov, hkrati pa služi tudi kot strežnik in zagotavlja različnim uporabnikom sliko dogajanja v zračnem prostoru (Požar, 2002, 87).

#### **7.4 SISTEM ZA OPOZARJANJE IN PREPREČEVANJE TRČENJ V ZRAKU**

TCAS (Traffic Alert And Collision Avoidance System), sistem za preprečevanje trčenj v zraku deluje v sodelovanju s SSR transponderji. TCAS oddajnik na krovu letala periodično oddaja zasliševanja letečim SSR transponderjem v načinu C (višina letenja). Ko TCAS sprejme odgovor, določi smer in oddaljenost tarče ter grafično prikaže položaj na zaslonu, hkrati pa preveri, če obstaja možnost trčenja. Domet je tipično okoli 40 NM. Deluje povsem neodvisno od zemeljske infrastrukture. TCAS so razvili v Združenih Državah Amerike, razvoj pa obsega tri faze. TCAS-1 je prvotni sistem, imel je zmožnost grobega določanja smeri in oddaljenosti tarče ter opozorila, če določeno letalo predstavlja potencialno nevarnost. TCAS-2 poleg opozoril izdaja tudi nasvete, kako nevarno situacijo (v vertikalni ravnini) rešiti. TCAS-4, katerega razvoj so opustili, pa ima možnost izdajanja nasvetov tudi v horizontalni ravnini.

**Slika 26: Delovanja in struktura TCAS**



Vir: Požar (2002, str. 96)

Trenutni razvoj gre predvsem v smeri sodelovanja TCAS s SSR-S transponderji in izmenjavo podatkov izboljšane nadzora (položaj, hitrost, smer, itd.). Poleg tega obstaja še niz preprostejših in manj zmogljivih različic za uporabo v splošnem letalstvu. TCAS-2 je obvezen del opreme za vsako letalo (na plinsko-turbinski pogon), ki lahko prevaža več kot 30 potnikov (oz. z največjo dovoljeno maso 15 ton). Z letom 2005 pa se je pogoj za uporabo TCAS-a še zaostрил na 19 potnikov (oz. 5,7 ton).

Za delovanje TCAS je bilo potrebno rešiti dve večji težavi. Prva je povezana z določitvijo smeri tarče. Tako je bil razvit antenski sistem, ki ima oddaji vsesmerni sevalni diagram, na sprejemu pa deluje kot interferometer in na ta način določi smer prihajajočega signala. Druga težava je v tem, da je na transponderski oddajni frekvenci (1090 MHz) zelo gost promet (SSR, SSR-S, IFF (Identification Friend or Foe) odgovori). Za preprečitev nasičenja in zmanjšanje števila hkratnih odgovorov (trkov) je na oddaji uporabljena tehnika "šepeta in krika" ("whisper-shout"). TCAS oddajnik najprej odda zaslišanje z manjšo jakostjo ("šepet"), katerega sprejmejo in nanj odgovorijo le občutljivejši oz. sprejemniki v bližini. V drugi fazi odda TCAS močnejši signal ("krik"), katerega sprejmejo še tisti, ki "šepeta" niso sprejeli. Ključni je tukaj mehanizem, ki transponderjem, ki so sprejeli "šepet", prepoveduje odgovor na "krik" in obratno. Tak pristop zadošča za delovanje tudi v zelo prometno obremenjenih področjih.

TCAS spada (in je do sedaj edini primer implementacije) v skupino letočih sistemov za preprečevanje trčenj v zraku ACAS (Airborne Collision Avoidance System), ki je splošnejši pojem. ICAO je opredelila tri zmogljivostne razrede ACAS (podobno kot TCAS): ACAS-1, ki pridobiva podatke iz letočih transponderjev in izdaja opozorila, ACAS-2, ki poleg tega izdaja še nasvete za reševanje nevarnih situacij v vertikalni ravnini ter ACAS-3, ki zna to početi tudi v horizontalni ravnini. ACAS ni mišljen kot nadomestilo funkcij kontrolorja ali celo zagotavljanja razdvajanja med letali. Njegov namen je povečati varnost s tem, da deluje kot zadnja možnost preprečevanja trkov v zraku (Požar, 2002, 97).

## 8 ZAKLJUČEK

V letalstvu se različne tehnologije in področja počasi, a vztrajno zlivajo. Komunikacije, navigacija in nadzor, skupaj z obdelavo in predstavitvijo informacij, postajajo del vse bolj neločljive celote. Prehod k novi zasnovi upravljanja letalskega prometa vsekakor ne bo hiter ali celo skokovit. Tehnoloških rešitev zagotovo ne manjka. Po eni strani novi sistemi in postopki dejansko potrebujejo določen čas za tehnično preizkušanje in pridobitev potrebnih dovoljenj za operativno uporabo. Letalstvo, kjer je varnost primarnega pomena, je zelo nadzorovano področje. Vsi vidiki letalstva so podvrženi strogemu nadzoru ter počasni in postopni uvedbi novih tehnologij: tako oprema, aplikacije, kakor tudi ljudje. Skratka, če ni varno, ne bo letelo oziroma se ne bo uporabljalo.

Seveda z uvedbo novih tehnologij v letalstvu ne pridobiva samo industrija in posamezne korporacije, ki se ukvarjajo z izdelavo in prodajo posameznih sistemov, ampak imamo od tega korist vsi ljudje, ki uporabljamo letala kot prevozna sredstva. Ljudje pač v sodobnem svetu iz dneva v dan vse več potujemo z letali. Tako se je promet v zračnem prostoru v zadnjem času povečal za več kot dvakrat in še vedno raste. Posledično si zaradi tega zelo težko predstavljamo, da bi ob vse večjemu prometu v zraku in zato ob vse večji »zmedii« v njem piloti še vedno leteli s pomočjo vizualne navigacije in brez navodil kontrolorja letenja. Potniška letala letijo zelo visoko in zato bi piloti zelo težko videli orientirje na tleh s pomočjo katerih bi se lahko orientirali. Ob slabi vidljivosti in nad morjem pa bi bil takšen način orientacije nemogoč. Poleg tega je potrebno tudi časovno uskladiti posamezne lete letal zaradi prevelike gneče ob pristajanju in vzletih letal na letališčih. Letenje bi bilo preprosto nemogoče in zelo nevarno, zato je uporaba radio navigacije v letalstvu nujna. Prvo hipotezo, ki sem si jo zastavil v uvodu naloge lahko zato v popolnosti sprejemem.

Na tem mestu moram poudariti, da se z uvedbo novejših tehnologij v letalstvu lajša delo tudi kontrolorju letenja in prav tako pilotom. Kontrolor letenja pridobi sliko od radarja, ki jo ima na zaslonu in na njeni osnovi, podaja pilotu podatke za varno letenje po zračnem prostoru. Pilot si lahko prav tako pridobi podatke, ki so mu potrebni za samo načrtovanje leta in njegovo izvedbo iz različnih virov. Med samim letom je pilot servisiran s potrebnimi podatki iz različnih kontrol letenja. Ob slabi vidljivosti, spremenljivih vremenskih razmerah, ponoči ali močnih padavinah, let letala ni prepovedan. Sicer je priporočljivo, da se letala izogonejo oblakom in področjem kjer so močne padavine, toda včasih se je takšnim predelom nemogoče izogniti. Ravno tako so poleti letal načrtovani tudi ponoči ali pa letala prispejo na cilj ponoči zaradi časovne razlike. Tehnologija, ki je na razpolago pilotom in kontrolorjem letenja, kljub temu deluje nemoteno in pripomore k varnemu letu, pristajanju in vzletu letal. Zato tudi drugo hipotezo lahko sprejemem.

Ob vsem bolj povečanem civilnem prometu v zračnem prostoru, se za svoj prostor pod soncem bori tudi vojaško letalsko. Seveda se morajo tudi vojaški piloti šolati in uriti v miru za izvedbo mirovnih, kakor tudi bojnih nalog, saj drugače ne moremo od njih pričakovati in zahtevati visoko raven usposobljenosti. Glavni načrtovalec in upravljavec z zračnim prometom v Sloveniji je civilna kontrola letenja. Tudi letala drugih vojsk morajo pridobiti ustrezna dovoljenja za prelet slovenskega zračnega prostora od pristojnih institucij v Sloveniji. V slovenskem zračnem prostoru ta letala vodi civilna kontrola letenja. Izjema so le letala, ki preletijo v Slovenijo na misijo »Air Policing (varovanje zračnega prostora)«. Le te v



slovenskem zračnem prostoru vodijo vojaški kontrolorji letenja ob sodelovanju s civilno kontrolo letenja. Uporaba navigacijskih pripomočkov za letenje pa je v vojski in med civilnimi letali identična, kajti varnost je vedno na prvem mestu.

## LITERATURA

- DOLŠEK, Simona. Financiranje navigacijskih služb zračnega prometa. Ekonomska fakulteta, Ljubljana, 2006.
- KARNER, Peter. Radionavigacija 1. Aeroklub, Celje, 2001.
- KARNER, Peter. Navigacija . Aeroklub, Celje, 2002.
- KARNER, Peter. Meteorologija. Aeroklub, Celje, 2003.
- POLENEC, Tone. Letalo, polet, letališče. Mladinska knjiga, Ljubljana, 1976.
- POŽAR, Gregor. Telekomunikacijski sistemi v letalstvu. Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2002.

## VIRI

- THALER, Miha. Nova tehnologija v pilotski kabini. Revija krila. 1989, let. 19 št. 2/1989, str. 28.
- VIDMAR, Matjaž. Stanje amaterskih in drugih satelitov. CQ ZRS, Glasilo Zveze Radioamaterjev Slovenije. 2000, let. 11 št. 3/2000, str. 41-42.
- ASP. Slovar slovenskega knjižnega jezika. Državna založba Slovenije. (1996).
- Aeronautical Information Publication. Navigation, 2007.
- Civil Military CNS/ATM. Interoperability Roadmap Edition 1.0. Navigation, str. 15-24.

## INTERNETNI VIRI

- (<http://hr.wikipedia.org/wiki/zrakoplov>)
- (<http://si.wikipedia.org/wiki/zrakoplov>)
- (<http://www.waterproofcharts.com/faqiss.html#12>)
- (<http://Wikipedia,thefree encyklopedia.htm>)
- (<http://www.dean-boys.com/extras/iff/iffqa.html>)
- (<http://www.airforcehelper2000.netfirms.com/IFF.htm>)
- ([http://www.eurocontrol.be/eatm/public/standard\\_page/egd.html](http://www.eurocontrol.be/eatm/public/standard_page/egd.html))
- (<http://www.allstar.fiu.edu/aero/tcas.htm>).
- (<http://www.google.si/search?hl=sl&q=magnetna+deklinacija&btnG=Iskanje+Google&meta>)
- (<http://cockpitgps.com>)

## SEZNAM SLIK IN TABEL

Slika 1: Prava smer .....	4
Slika 2: Magnetna deklinacija .....	4
Slika 3: Višinomer s čelne strani in v preseku .....	6
Slika 4: Višine .....	6
Slika 5: Nastavitve višinomera .....	8
Slika 6: Merilec hitrosti .....	9
Slika 7: Shematski prikaz merilca hitrosti .....	9
Slika 8: Časovni pasovi .....	10
Slika 9: Primerjanje karte z dejanskim stanjem v naravi .....	11
Slika 10: Postopek odhoda na zahtevano smer poti .....	12
Slika 11: 2D hiperbolična navigacija .....	16
Slika 12: Delovanje radijskega svetilnika .....	17

Slika 13: Oddajnik VOR .....	18
Slika 14: Konus višine .....	19
Slika 15: Princip delovanje sistema DME .....	20
Slika 16: Delovanje sistema ILS .....	21
Slika 17: Razporeditev satelitov .....	23
Slika 18: Prikaz navigacije z GPS-om .....	24
Slika 19: Pilotska kabina .....	24
Slika 20: Način merjenja .....	25
Slika 21: Diferencialni GPS .....	26
Slika 22: Sistem delovanja radarja .....	29
Slika 23: Delovanje sistema SSR .....	30
Slika 24: Potlačitev transportnih snopov .....	30
Slika 25: Združevanje PSR in SSR podatkov .....	32
Slika 26: Delovanja in struktura TCAS .....	34
Tabela 1: Doseg PRS .....	28
Tabela 2: Doseg PSR na nizkih višinah .....	28
Tabela 3: Načini delovanja SSR .....	31

## SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

ACAS	(Airborne Collision Avoidance System): Sistem za preprečevanje trčenj v zraku.
ADF	(Automatic Direction Finder): Samodejni iskalec smeri, radiokompas.
ADS	(Automatic Dependent Surveillance): Samodejni odvisni nadzor.
ADS-B	(Automatic Dependent Surveillance – Broadcast): Samodejni odvisni nadzor, difuzija.
ARTAS	(ATM Surveillance Tracker And Server System): ATM nadzorni sledilni in strežniški sistem.
ASTERIX	(All-purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange): Standardni format sporočil za prenos in izmenjavo radarskih podatkov, organizacije Eurocontrol.
ATC	(Air Traffic Control): Kontrola letenja.
ATM	(Air Traffic Management): Upravljanje letalskega prometa.
C/A	(Coarse Acquisition): Vrsta GPS oddaje, ki omogoča začetno sinhronizacijo in manj natančno navigacijo.
CDMA	(Code Division Multiple Access): Kodno porazdeljen sodostop.
CIS	(Co-operative Independent Surveillance): Neodvisni nadzor s sodelovanjem.
CNS	(Communications, Navigation, Surveillance): Komunikacije, navigacija, nadzor.
DECCA	Vrsta hiperbolične navigacije.
DGPS	(Differential GPS): Diferencialni GPS.
DME	(Distance Measuring Equipment): Naprava za merjenje razdalj.
FL	(Flight Level): višinski nivo.
FM(G)S	(Flight Management and Guidance System): Sistem upravljanja in vodenja poleta.
GNSS	(Global Navigation Satellite System): Globalni sistem satelitske navigacije (splošno).

GPS	(Global Positioning System): Ameriški vojaški globalni sistem za satelitsko navigacijo.
GRAS	(GNSS Regional Augmentation System): GNSS regionalno izboljšani sistem.
GS	(Ground Speed): Potovalna hitrost.
LORAN	(Long Range Navigation): Navigacija velikega dosega.
IAS	(Indicated Air Speed): Instrumentalna hitrost.
ICAO	(International Civil Aviation Organisation): Mednarodna organizacija civilnega letenja.
IFF	(Identification Friend or Foe): Identifikacija naš – tuj, vojaška različica sekundarnega radarskega sistema.
IFR	(Instrumental Flight Rules): Pravila za letenje po instrumentih.
ILS	(Instrumental Landing System): Sistem za pristajanje pri zmanjšani vidljivosti.
INS-IRS	(Inertial Navigation / Reference System): Inercialni navigacijski / referenčni sistem.
IS	(Independant Surveillance): Neodvisni nadzor.
MEO	(Medium Earth Orbit): Vmesne zemeljske tirnice.
MLS	(Microwave Landing System): Mikrovalovni pristajalni sistem.
MSK	(Minimum Shift Keying): Modulacija z minimalnim frekvenčnim preskokom.
NDB	(Non Directional Beacon): Neusmerjeni radijski svetilnik.
NM	Navtična milja, 1NM=1852m.
OMEGA	Vrsta hiperbolične navigacije.
PNS	(Pseudo Noise Sequence): Psevdonaključni niz.
PSR	(Primary Surveillance Radar): Primarni nadzorni radar.
RHD	(Radar Horizon Distance): Razdalja do horizonta radarja.
RNAV	(Area Navigation): Področna navigacija.
RNP	(Required Navigation Performance): Zahtevana navigacijska zmogljivost.
S/A	(Selective Availability): Selektivna uporabnost.
SATCOM	Satelitske komunikacije.
SDFC	(Surveillance Data Filter and Combiner): Sistem obdelave in združevanja podatkov nadzora.
SSR	(Secondary Surveillance Radar): Sekundarni nadzorni radar.
TACAN	(Tactical Navigation): Taktična navigacija, vojaški navigacijski sistem.
TAS	(True Air Speed): Dejanska hitrost.
TCAS	(Traffic alert and Collision Avoidance System): Sistem za opozarjanje in preprečevanje trčenj v zraku.
UHF	(Ultra High Frequency): Ultra visoke frekvence (300 – 1000 MHz)
UTC	(Universal Time Coordinated): Univerzalni koordiniran čas.
VDL	(VHF data link, VHF podatkovna povezava).
VHF	(Very High Frequency): Zelo visoke frekvence (30 – 300 MHz), ultrakratki valovi.
VOR	(VHF Omnidirectional Range): VHF vsesmerni usmerjevalec.
VORTAC	Kombinirana VOR – TACAN zemeljska navigacijska postaja.

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Spodaj podpisani, Iztok Strgar , rojen 05.12.1972 v Slovenj Gradcu, kandidat 18. generacije Šole za častnike, izjavljam, da sem nalogo izdelal sam, s pomočjo mentorja por. Gabra Koširja.

Ljubljana, februar, 2008

vv. Iztok Strgar