

**UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE**

Tomaž Mačus

**Uporaba globalnega navigacijskega satelitskega sistema Navstar GPS v
vojaške namene**

Diplomsko delo

Ljubljana, 2012

**UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE**

Tomaž Mačus

Mentor: doc. dr. Dušan Petrovič

Somentor: asist. dr. Erik Kopač

**Uporaba globalnega navigacijskega satelitskega sistema Navstar GPS v
vojaške namene**

Diplomsko delo

Ljubljana, 2012

Uporaba globalnega navigacijskega satelitskega sistema NAVSTAR GPS v vojaške namene

Navigacija in določanje položaja imata od nekdaj osrednjo vlogo pri vojskovanju. Z razvojem tehnologije, še posebej pa satelitskih navigacijskih sistemov, se je ta vloga še toliko bolj okrepila. Pojavili so se povsem novi možni načini uporabe globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v vojaške namene, še posebej NAVSTAR GPS-a. Tu prednjačijo predvsem natančno vodeni izstrelki, ki nedvomno prispevajo k učinkovitosti vojskovanja. V diplomskem delu je predstavljena zgodovina razvoja NAVSTAR GPS sistema, ki je danes najbolj razširjen globalni navigacijski satelitski sistem v vojaški in civilni sferi, predstavljeno je njegovo delovanje in tudi ostali obstoječi sorodni satelitski navigacijski sistemi. Iz sistema, ki je omogočal določitev lege v vseh vremenskih pogojih, vse dni v tednu, je hitro prerasel v ključni sistem za lociranje vseh enot na bojišču, ki je poveljnikom omogočal spremljanje poteka vojskovanja v živo. Poleg tega pa je postal nepogrešljiv element pri vseh vrstah natančno vodenih izstrelkov (bomb, raket, artilerije).

Posebno poglavje je namenjeno splošnemu pregledu uporabe NAVSTAR GPS-a v Slovenski vojski in redkim slovenskim podjetjem, ki se skušajo preživljati na tem področju. Pri nas je zaradi majhnosti in vpetosti v krog držav članic pakta NATO razvoj na tem področju seveda sorazmerno primeren, bi pa lahko država imela več posluha za domačo industrijo.

Ključne besede: navigacija, NAVSTAR GPS, GNSS, vodeni izstrelki, oborožitev.

The use of the global navigation satellite system NAVSTAR GPS for military purposes

Navigation and positioning have always had a central role in warfare. With the advances in technology, especially satellite navigation systems, has this role become even more strengthened. New ways of employing global satellite navigation system, especially the NAVSTAR GPS, for military purpose have emerged. Foremost precision guided munition, that unambiguously contributed to the efficiency of warfare. This diploma thesis presents the history of development of the NAVSTAR GPS system, which is at date the most widespread global satellite navigation system in military and civil sphere. It also presents its' functioning and other similar satellite navigation systems in use today. The GPS quickly grew from a system that offered all-weather, 24/7 location determination, to a key system for locating all the units on the battlefield and transmitting this data to the commanding officers, allowing them for the first time to have a direct overview of the ongoing warfare. Moreover, it has become an indispensable element in all types of precision-guided munitions (bombs, missiles, artillery).

A special chapter is dedicated to a general overview of the NAVSTAR GPS in the Slovenian armed forces and to review the few slovenian companies that are trying to earn a living in this field. Because of Slovenia's small size and it's membership in the NATO pact, the development in this area, is of course proportionally comparable, but the state could have more sympathy for the domestic industry.

Keywords: navigation, NAVSTAR GPS, GNSS, precision guided munition, armament.

KAZALO

1 UVOD	11
2 METODOLOŠKO-HIPOTETIČNI OKVIR.....	13
2.1 PREDMET IN CILJ PROUČEVANJA	13
2.2 METODOLOŠKI PRISTOP	13
2.3 HIPOTEZE.....	14
2.4 OPREDELITEV TEMELJNIH POJMOV	14
3 GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI	17
3.1 RAZVOJ	17
3.2 DELOVANJE	20
3.2.1 Trilateracija.....	20
3.2.2 Merjenje razdalje do satelita	21
3.2.3 Zgradba signala.....	21
3.2.4 Načini določanja položaja.....	24
3.2.4.1 Absolutna določitev položaja.....	25
3.2.4.2 Diferencialni GPS	26
3.3 NAVSTAR GPS.....	27
3.3.1 Prva faza (1974–1979).....	27
3.3.2 Druga faza (1980–1989).....	29
3.3.3 NAVSTAR GPS od leta 1990 do danes	31
3.3.4 Trenutno stanje in delovanje.....	32
3.3.4.1 Vesoljski del.....	32
3.3.4.2 Nadzorni segment.....	33
3.3.4.3 Uporabniški del	34
3.4 OSTALI GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI.....	35
3.4.1 GLONASS.....	35
3.4.2 GALILEO	37
3.4.3 BEIDOU IN OSTALI SISTEMI	38
4 VOJAŠKA UPORABA NAVSTAR GPS-A.....	40
4.1 NAVIGACIJA	42
4.1.1 KOPENSKA NAVIGACIJA.....	43

4.1.1.1	Primeri uporabe GPS-a pri kopenskih silah v zalivski vojni.....	44
4.1.1.2	Land Warrior.....	47
4.1.1.3	Soldier 911	48
4.1.1.4	Brezpilotna kopenska vozila – UGV.....	49
4.1.2	POMORSKE OPERACIJE	50
4.1.2.1	Zračne pomorske patrolje.....	50
4.1.2.2	Odkrivanje minskih polj.....	50
4.1.2.3	Avtonomna podvodna plovila – AUV	51
4.1.2.4	Brezpilotna površinska plovila – USV.....	51
4.1.3	ZRAČNE OPERACIJE	53
4.1.3.1	Unmanned Aerial Vehicles – UAV.....	53
4.2	NATANČNO VODENI IZSTRELKI.....	54
4.2.1	VODENE BOMBE.....	55
4.2.1.1	JDAM (Joint Direct Attack Munition).....	55
4.2.1.2	EDGE (Exploitation of Differential GPS for Guidance Enhancement)...	57
4.2.1.3	MMTD (Miniature Munition Technology Demonstration)	59
4.2.1.4	Enhanced Paveway in Paveway IV.....	59
4.2.1.5	AASM (L'Armement Air-Sol Modulaire).....	60
4.2.1.6	AGM-154 JSOW (Joint Stand-Off Weapon).....	60
4.2.1.7	Ostali programi	61
4.2.2	VODENE RAKETE	61
4.2.2.1	BGM-109 Tomahawk	61
4.2.2.2	SLAM »Expanded Response« (SLAM-ER).....	63
4.2.2.3	Apache	64
4.2.2.4	Storm Shadow	64
4.2.2.5	AGM-158 Joint Air-to-surface Standoff Missile (JASSM)	66
4.2.2.6	Low-Cost, Autonomous Attack System (LOCAAS).....	67
4.2.2.7	Taurus KEPD-350.....	68
4.2.3	ARTILERIJA.....	69
4.2.3.1	Land Attack Standard Missile.....	70
4.2.3.2	GMLRS.....	71
4.2.3.3	ERGM ali BTERM?.....	71
4.2.3.4	Excalibur	72
4.3	DRUGI NAČINI UPORABE NAVSTAR GPS-A	73
4.3.1	ZRAČNI DESANT IN OSKRBA IZ ZRAKA.....	73
4.3.2	IZOGIBANJE PRIJATELJSKEGA OGNJA	74

4.3.2.1 FBCB2	74
5 UPORABA NAVSTAR GPS-A V SLOVENSKI VOJSKI.....	76
5.1 SLOVENSKA BREZPILOTNA LETALA.....	77
6 SKLEP	79
7 LITERATURA	83

KAZALO SLIK

Slika 3.1: <i>Koncept trilateracije v treh dimenzijah.....</i>	21
Slika 3.2: <i>Struktura navigacijskega sporočila.....</i>	23
Slika 3.3: <i>Določitev absolutnega položaja na osnovi opazovanj GPS.....</i>	25
Slika 3.4: <i>Nadzorne postaje NAVSTAR GPS-a</i>	34
Slika 3.5: <i>Primer satelita GLONASS-K.....</i>	36
Slika 4.1: <i>Zdaj že zamrli program Land Warrior.....</i>	48
Slika 4.2: <i>Brezpilotno površinsko plovilo Protector</i>	52
Slika 4.3: <i>Brezpilotno letalo Global Hawk.....</i>	54
Slika 4.4: <i>Primer zgradbe JDAM izstrelka.....</i>	56
Slika 4.5: <i>Shematski prikaz delovanja EDGE sistema</i>	58
Slika 4.6: <i>Prikaz poti izstrelka Tomahawk od izstrelitve do cilja.</i>	63
Slika 4.7: <i>Storm Shadow/SCALP EG</i>	66
Slika 4.8: <i>Primer delovanja večstopenjskega vžigalnika</i>	69

KAZALO TABEL

Tabela 4.1: <i>Natančnost bombardiranja od druge svetovne vojne do zalivske vojne.....</i>	41
--	----

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

AS	Anti Spoofing – sistem proti motenju signala GPS
ASV	Autonomous Surface Vehicle – glej USV
AUV	Autonomous Underwater Vehicle – avtonomno podvodno plovilo
BEIDOU	glej CNSS
C/A	Coarse Acquisition – koda C/A
CEP	Circular Error Probable – odstopanje od središča cilja
COMPASS	glej CNSS
CNSS	COMPASS Navigation Satellite System – kitajski globalni navigacijski satelitski sistem
DAGR	Defense Advanced GPS Receiver – obrambni napredni sprejemnik GPS
DGPS	Differential GPS – diferencialni GPS
DNSS	Defense Navigation Satellite System – sistem navigacijskih satelitov za obrambo
FBCB2	Force XXI Battle Command Brigade-and-Below tracking system – sistem sledenja 21. stoletja za nivo brigade in navzdol
EDGE	Exploitation of Differential GPS for Guidance Enhancement – uporaba diferencialnega signala GPS za izboljšanje vodenja izstrelka
ESA	European Space Agency – Evropska vesoljska agencija
GLONASS	Global'naya Navigatsioannaya Sputnikovaya Sistema – ruski globalni navigacijski satelitski sistem
GNSS	Global Navigation Satellite System – globalni navigacijski satelitski sistem
GPS	Global Positioning System – ameriški globalni navigacijski satelitski sistem znan tudi pod imenom NAVSTAR GPS
HTSF	Hard-Target Smart Fuse – pametni vžigalnik za težko oklepljene cilje
IBN	Image Based Navigation – navigacija s pomočjo slik
INS	Inertion Navigation System – inercialni navigacijski sistem
JPO	Joint Program Office – Urad za skupni program
LORAN	Long Range Aid to Navigation – zemeljski navigacijski sistem z oddajniki nizkih frekvenc

NAVSEG	Navigation Satellite Executive Group – Izvršni odbor za satelitsko navigacijo
NAVSTAR	Navigation System with Timing and Ranging – navigacijski sistem za merjenje časa in razdalje
NPT	Nuclear Non-Proliferation Treaty – Sporazum o neširjenju jedrskega orožja
NTS	Navigation Technology Satellite – satelit za navigacijo
NUDET	Nuclear detonation – jedrska eksplozija
OCS	Operational Control System – operativni nadzorni sistem
PADS	Position and Azimuth Determining System – sistem za določanje položaja in azimuta
P-code	Precise code ali Protected code – P-koda, natančni oz. zaščiteni signal sistema GPS
PLGR	Precision Lightweight GPS Receiver – natančen lahek sprejemnik GPS
PRC	Pseudo Random Code – navidezno naključna koda
PRN	Pseudo Random Noise – navidezno naključni šum, tudi PRC
RIRT	Russian Institute of Radionavigation and Time – Ruski inštitut za radionavigacijo in čas
RNII KP	Russian Scientific-Research Institute of Space Industry – Ruski znanstvenoraziskovalni inštitut za vesoljsko industrijo
S/A	Selective Availability – izbirna razpoložljivost, namensko vnašanje napake v civilno uporabo GPS-a
SAMSO	Space and Missile Systems Organization – Organizacija za vesoljske in raketne sisteme
SAR	Synthetic Aperture Radar – sintetični režni radar
SBAS	Satellite Based Augmentation System – satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj
SECOR	Sequential Correlation of Range – sistem za sekvenčno korelacijo razdalje
SIGNAL	SI-Geodezija-Navigacija-Lokacija
SLGR	Small, lightweight, handheld GPS receiver – majhen, lahek, ročni sprejemnik GPS
SVN	Space Vehicle Number – številka vesoljskega plovila
TERCOM	Terrain Contour Matching – ujemanje po obliki terena

TLDHS	Target Location, Designation, and Hand-off System
TRACC³	Tracking Command Control and Communications System – sistem za sledenje, poveljevanje, nadzor in komunikacijo
TRN	Terrain Referenced Navigation – navigacija na podlagi terenskih referenčnih točk
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – brezpilotno zračno plovilo
UG(C)V	Unmanned Ground (Combat) Vehicle – brezpilotno kopensko (bojno) vozilo
USV	Unmanned Surface Vehicle – brezpilotno površinsko plovilo
UTC	Universal Coordinated Time – univerzalni koordinirani čas
WGS 84	World Geodetic System 1984 – svetovni geodetski sistem 1984

1 UVOD

Navigacijo lahko definiramo kot veščino, ki nam pove, kako spraviti določeno osebo oz. predmet z enega položaja na drugega. Vsak izmed nas opravlja neke vrste navigacijo vsak dan, ko gre na fakulteto, v šolo, službo, se vozi domov itd. Ta znanja zahtevajo uporabo čutil, zdrave pameti, ustreznega predhodnega vedenja, znanja in določenih razpoznavnih znamenj iz okolja. Za uspešno navigacijo v prostoru se moramo seveda znati tudi dobro orientirati. Pogoji za uspešno orientacijo so odvisni od podatkov o zemljišču, fizične sposobnosti in opreme, razmer na zemljišču, znanja orientacije in psihične pripravljenosti ter uporabljenih tehničnih pripomočkov (Petrovič 2010). Prav slednji pridejo v poštev, ko želimo bolj zanesljivo vedeti, kje se nahajamo, kam smo namenjeni in kdaj bomo tja prispeli. Takrat lahko uporabimo pripomočke, kot so ura za merjenje časa preko znane razdalje ali pa števec v avtu, ki samodejno beleži prepotovano razdaljo, oz. še bolj namenski kompas. Obstajajo pa tudi kompleksnejši navigacijski sistemi, ki za določanje lege uporabljajo brezžične signale – tem pravimo radionavigacijski sistemi in izvirajo, kot marsikatera druga sodobna tehnologija, iz vojaške sfere.

Sodobne navigacijske tehnologije niso spremenile samo načina vodenja vojne, ampak tudi cilje, ki jih skušamo z vojno doseči. Šele v 20. stoletju so navigacijski sistemi postali uporabni za taktično načrtovanje spopada. Zadnjih šestdeset let je potreba po natančnih zadetkih z razdalje spodbudila razvoj na področju inercialnih in radionavigacijskih oborožitvenih sistemov, ampak šele s prihodom globalnega navigacijskega satelitskega sistema GPS¹ in drugih globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GNSS)² so razvijalci teh sistemov pridobili zmožnost svetovnega, vedno dostopnega, visoko natančnega navigacijskega sistema z zmožnostjo zadevanja s »kirurško« natančnostjo.

Ampak kako lahko skupek radijskih signalov tako sprebrne vodenje vojskovanja? Odgovor je preprost, saj imata navigacija in določanje položaja osrednjo vlogo pri bojevanju. Za načrtovanje vojskovanja morajo poveljniki vedeti, kje se nahajajo njihove

¹ GPS je ameriški globalni navigacijski satelitski sistem, katerega polno ime je NAVSTAR GPS.

² GNSS pomeni določitev postopkov in načel, po katerih delujejo danes v svetu že kar številni sistemi, kot so GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU.

sile in sovražne enote ter kakšni so cilji. Prav tako morajo svoj in nasprotnikov položaj poznati vojaki. Tudi logistika mora za oskrbovanje enot vedeti, kje se nahajajo zaloge in poti, ki vodijo do enot, ki te zaloge potrebujejo. Vse te informacije pa so bile redkokdaj v preteklosti dostopne v vojnem času – na samem bojišču. S pojavom GPS-a pa se je zgodilo prav to. GPS je v povezavi z ostalimi sodobnimi tehnologijami omogočil, da so ključni podatki o bojišču postali poveljnikom dostopni v realnem času ter jim tako omogočajo hitrejše in kakovostnejše sprejemanje odločitev. Prvič so takšne podatke uporabili v operaciji Puščavska nevihta in od takrat GPS hitro postaja nujen sestavni del informacijske infrastrukture, ki omogoča hitro izvrševanje natančnega vojskovanja. Sicer drži, da je bila Puščavska nevihta precej netipična operacija, saj v puščavi ni nobenih ovir sprejemanja signalov GPS in je prepoznavnost s satelitskih podob zelo dobra. V vsakem drugem okolju bi bila uporaba precej bolj omejena, kar navsezadnje kaže izkušnja Afganistana.

2 METODOLOŠKO-HIPOTETIČNI OKVIR

2.1 PREDMET IN CILJ PROUČEVANJA

Predmet proučevanja diplomskega dela se nanaša na uporabo GPS-a v vojaške namene. Zaradi boljšega razumevanja tematike je v diplomskem delu najprej predstavljen GPS na splošno, na kratko so orisani zgodovinski razvoj in dejavniki, ki so pripomogli k temu, da je danes GPS ena ključnih tehnologij v vojaških aktivnostih držav članic zaveznitva NATO in partnerskih državah. Kot je prikazano v poglavju 3.4, obstajajo tudi drugi globalni navigacijski satelitski sistemi, ampak je v diplomskem delu predstavljen in podrobneje opisan izključno NAVSTAR GPS oz. na kratko GPS.

Namen diplomskega dela je prikazati delovanje GPS-a, kakšne so možnosti uporabe sistema na vojaškem področju, in pregledati implikacije novih vlog, ki jih tehnologija GPS-a pridobiva v sedanjih in jih bo imela v bodočih vojaških operacijah.

V tej luči skuša diplomsko delo vseobsegajoče zajeti obravnavano tematiko tako s tehnološko-tehničnega, kakor tudi taktičnega vidika. Zaradi lažjega razumevanja so sprva na splošno predstavljeni osnovni principi delovanja sistema GPS v civilnem sektorju, v četrtem poglavju pa je zaobjet vojaški segment. Zadnje, peto poglavje obravnava trenutno stanje v Slovenski vojski na področju uporabe tehnologije GPS in trende razvoja te tehnologije v prihodnosti.

2.2 METODOLOŠKI PRISTOP

Pri proučevanju tematike je bila v prvi vrsti uporabljena analiza vsebin, točneje sekundarnih pisnih virov, kot so knjige, članki, zborniki in druge publikacije ter veliko vsebine na medmrežju, pa tudi video virov v obliki dokumentarnih filmov, vsaj kot idejna osnova za nadaljanje raziskovanje. Pri tem so bile uporabljene naslednje metode:

- zbiranje primarnih in sekundarnih virov,
- deskriptivna metoda, s katero sem opisal in pojasnil temeljne pojme, ki so uporabljeni v diplomskem delu ter
- analitično-sintetična metoda – podajanje dobljenih ugotovitev na podlagi proučevanja virov.

2.3 HIPOTEZE

H1: Uporaba GNSS-a v oboroženih silah prispeva k večji učinkovitosti vojskovanja.

H2: GPS je postal v oboroženih silah držav članic zavezništva NATO osnovni gradnik za določanje položaja, navigacijo in natančno določanje časa, zato se njegovo uporabo vključuje v vedno več obstoječih sistemov, razvijajo pa se tudi številni novi načini njegove uporabe.

H3: Slovenska vojska v skladu s svojimi zmožnostmi sledi trendom uporabe GPS-a v vojaške namene.

2.4 OPREDELITEV TEMELJNIH POJMOV

2.4.1 NAVIGACIJA

V Vojni enciklopediji je zapisano, da beseda izvira iz latinščine (*navigatio* – potovanje, navigacija; *navis* – ladja, barka) in je bila nekoč poimenovana kot navtika, torej je bil njen prvotni namen uporaba za morsko plovbo in je služila kot večšina vodenja ladje z ene točke Zemlje na drugo s pomočjo vodene poti. Osnovne naloge navigacije so določanje smeri, oddaljenosti med dvema krajema in položaja vozila z namenom preverjanja dejansko prepotovane poti. Sredstvo in načini za reševanje teh nalog pa so odvisni od stopnje razvitosti znanosti in tehnike, saj je razvoj navigacije zelo odvisen od dognanj astronomije, matematike, hidrografije in tehnike (Gažević 1973, 2–3).

Navigacija je definirana tudi kot »znanost premikanja vozila oz. osebe iz enega kraja v drugega« (Kaplan 2006, 1). Osnovno navigacijo opravlja vsak posameznik vsak dan, ko se odpravlja v službo, na fakulteto, v trgovino. Za to ne potrebujemo nobenih dodatnih pripomočkov in metod.

2.4.2 GPS in GNSS

Za začetek je treba razjasniti osnovna pojma s področja globalnih navigacijskih satelitskih sistemov, ki se dandanes v praksi velikokrat narobe uporabljata. Namreč, kdaj uporabljati poimenovanje GPS in kdaj GNSS? Kratica GPS pomeni Global Positioning System (globalni položajni sistem) in to je ameriški satelitski navigacijski

sistem NAVSTAR GPS. Sistem lahko »na meter natančno« določi položaj kateregakoli plovila, vozila, letala, izstrelka, katerekoli osebe itd., opremljenega oz. opremljene s sprejemnikom (Luttwak 1998, 256). Signali, prejeti iz treh ali več satelitov, uporabniku omogočajo, da lahko izračuna svoj položaj – oz. to stori sprejemnik GPS.

GNSS pomeni »globalni navigacijski satelitski sistem«, danes sta v svetu povsem globalna le NAVSTAR GPS in GLONASS,³ zaenkrat lokalni in na poti h globalnemu je kitajski Beidou, najavljeni so Galileo, pa indijski, japonski itd. Torej GNSS ni konkreten navigacijski sistem (to ni osebno ime), ampak gre tu zgolj za skupek načel in metod, ki opisujejo, kako nek satelitski sistem deluje.

Večina vsega orožja (vezanega na NATO) seveda uporablja NAVSTAR GPS, zato se v diplomskem delu večinoma uporablja ta izraz. Kadar je govor na splošno o metodah in načelih tehnologije, se uporablja izraz GNSS. Ko pa se govori o konkretnem navigacijskem sistemu ameriške vojske, takrat se uporablja GPS ali eksplicitno NAVSTAR GPS.

V večini oborožitvenih sistemov se GPS uporablja v navezi z elektronskim vezjem, ki združuje v sebi dve različni tehnologiji navigacije, s čimer povečuje zanesljivost delovanja, zmožnost preživetja in natančnost določanja položaja. V primeru izstrelkov je to največkrat kombinacija inercialnega navigacijskega sistema in navigacije GPS. Zato velikokrat lahko zasledimo kratico GPS v kombinaciji z INS – torej GPS/INS. Sistemi INS⁴ so posebna tehnologija (starejša od GNSS oz. GPS), ki omogoča na osnovi vztrajnosti relativno sledenje premikajočega se telesa z razliko od GNSS, ki omogoča predvsem absolutno določanje, zato pa je kombinacija obeh tehnologij zelo učinkovita in danes pogosto uporabljena. Sistemi INS se pogosto opirajo na navigacijsko tehniko »slepega računanja« (ang. dead reckoning), ki pride v poštev ob izgubi signala GPS in se zanaša na izračune izmerjene hitrosti in/ali pospeškov v danem intervalu (Rip in Hasik 2002, 511).

³ Kratica imena ruskega vojaškega globalnega navigacijskega satelitskega sistema, ki ga upravlja ruska zvezna vlada oz. Ruske vesoljske sile.

⁴ Je pripomoček za navigacijo, ki uporablja računalnik, senzorje gibanja (merilce pospeška) in senzorje vrtenja (giroskope), s katerimi stalno izračunava položaj, orientacijo in hitrost premikajočega se predmeta.

2.4.3 VOJSKOVANJE

Ameriška raziskovalca Paul Shaw in Yuwa Wong sta v študiji *Genetic Seeds of Warfare* vojskovanje opredelila le kot eno izmed strategij, s katero se povečajo možnosti za preživetje krvno sorodnih socialnih skupin, ki jih povezujejo skupni jezik, kultura, vera, miti oz. nacionalna identiteta (Shaw v Žabkar 2003, 238).

V slovenski vojaški doktrini piše, da bo za konvencionalno vojskovanje »značilna visoka intenzivnost bojnega in drugih načinov delovanja v vsakem obdobju dneva, vseh vremenskih razmerah in z uporabo najsodobnejše tehnologije, oborožitve in vojaške opreme na obeh ali le na eni strani v spopadu« (Petelin 2006, 89).

Najlažje bomo vojskovanje razumeli, če si pogledamo eno izmed sintez današnjih načel vojskovanja oz. načel oboroženega boja, kot jih poimenuje Žabkar: (1) izbira cilja, (2) bojna morala, (3) napadalnost, (4) varnost, (5) presenečenje, (6) koncentracija sil, (7) gospodarnost prizadevanj, (8) prožnost, (9) sodelovanje, (10) administracija, (11) preprostost, (12) manever, (13) usklajevanje časa in hitrosti napredovanja ter (14) enotnost poveljevanja (Žabkar 2003, 334).

Prav iz teh načel izhaja ena najpomembnejših prednosti implementacije satelitskega vodenja in določanja položaja v vse oborožitvene sisteme – takšni sistemi postanejo učinkovitejši. Bolj učinkoviti pa postanejo zato, ker se poveča natančnost zadevanja in se posledično znižujejo stroški oboroženih spopadov, ker se izloči človeški faktor in zmanjša število potrebnih izstrelkov. Poleg tega pa se povečuje varnost vojskovanja, saj se zmanjšujejo izgube tako na strani civilistov, kakor tudi na strani vojaškega osebja.

3 GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI

3.1 RAZVOJ

Razvoj sodobne navigacije se je pričel v 20.-ih letih prejšnjega stoletja, ko smo vstopili v dobo radionavigacijskih sistemov. Eden prvih takih sistemov je bil LORAN – Long Range Aid to Navigation⁵ in je kot prvi izkoriščal časovno razliko v sprejemanju radijskih signalov za določanje položaja. Kasneje je razvoj umetnih satelitov omogočil oddajanje natančnejših signalov, s čimer se je pričela nova doba navigacijskih tehnologij. Sprva so satelite uporabljali v enostavnem, a zanesljivem dvo-dimenzionalnem navigacijskem sistemu, imenovanem Transit (v uporabi pri ameriški mornarici). S tem so bili postavljeni temelji za sistem, ki bo spremenil navigacijo za vedno: NAVSTAR GPS – NAVSTAR globalni položajni sistem.

Primarni cilj ameriškega ministrstva za obrambo pri razvoju GPS-a je bil v njegovi uporabi za natančno vodenje izstrelkov in namenu poenotenja sistemov za navigacijo, ki jih je bilo takrat v vojski kar nekaj. V zgodnjih šestdesetih letih so se tako številne ameriške vladne organizacije, vojska, NASA in ministrstvo za promet, pridružile ministrstvu za obrambo v razvoju satelitskega sistema za določanje položaja objektov na Zemlji. Zahteve za razvoj sistema so bile:

- globalnost,
- neprestano delovanje v vseh vremenskih pogojih,
- zmožnost delovanja z dinamičnimi platformami in
- visoka natančnost⁶ (Pace in drugi 1995, 238).

Mornarica je sponzorirala dva programa, ki sta v bistvu predhodnika GPS-a: Transit in Trimation. Transit so razvili v Applied Physics Laboratory in je bil prvi delujoči satelitski navigacijski sistem. Sestavljen je iz sedmih nizkoletečih (nekaj sto kilometrov) polarno orbitalnih satelitov in nekaj nadzornih postaj na Zemlji, ki skrbijo za pravilno usmerjenost satelitov. Uporabniki sistema Transit določajo svoj položaj na podlagi Dopplerjevega zamika signala pri oddajnih satelitih. Sistem je bil sprva načrtovan za

⁵ Je zemeljski navigacijski sistem, ki uporablja radijske oddajnike nizkih frekvenc.

⁶ Natančnost PPS signala BLOK-I satelitov je znašala 21m in 100m za SPS signal (Pace in drugi 1995, 62).

potrebe ameriške vojske po lociranju podmornic z balističnimi raketami in drugih ladij, leta 1967 pa je postal dostopen širši javnosti. Številni komercialni pomorski uporabniki so sistem začeli takoj uporabljati, pa tudi ostali zasebniki, čeprav je bil še vedno pod nadzorom vojske. Kljub temu da so program ukinili konec leta 1996, je pomembno prispeval k razvoju GPS-a, predvsem s svojim sistemom predvidevanja položaja satelita (Pace in drugi 1995, 238).

Drugi predhodnik sistema GPS je bil Timation, prav tako v rokah ameriške mornarice oz. natančnejše mornariškega raziskovalnega laboratorija (Naval Research Laboratory). Program je vključeval dva eksperimentalna satelita, ki sta bila namenjena raziskovanju visoko stabilnih ur, časovnim odstopanjem in dvodimenzionalni navigaciji. Prvi satelit so izstrelili leta 1967 in je s sabo v vesolje ponesel zelo natančne kremenjakove oscilatorje – kasnejši modeli so imeli tudi med prvimi vgrajene atomske ure, ki so bile natančnejše in so omogočale boljše določanje orbite satelitov ter s tem uporabnikov na Zemlji. To pionirsko delo na področju vesoljskih časovnih standardov je pomembno prispevalo tudi k razvoju GPS-a. Nenazadnje sta bila zadnja satelita v sistemu Timation uporabljena kot prototipa satelitov GPS (Pace in drugi 1995, 239).

Medtem so ameriške letalske sile vzporedno raziskovale podobno tehnologijo, ki so jo združili pod delovnim imenom Sistem 621B. Sistem je predvideval tridimenzionalno navigacijo (geografsko širino, dolžino in višino) z neprestano dosegljivostjo. Do leta 1972 so že uspešno predstavili delovanje novega tipa satelitskega signala, osnovanega na navidezno naključnem šumu (pseudorandom noise – PRN)⁷. S to tehnologijo so že lahko določili položaj letala na 20 metrov natančno. Takrat si je vojska zamislila globalni sistem, sestavljen iz 16 geosinhronih satelitov, katerih nadzorno območje je pokrivalo štiri ovalne izseke 30 stopinj severno in južno od ekvatorja. S to posebno geometrijo so omogočili postopen razvoj sistema, saj so bili potrebni samo štirje sateliti za predstavitev njegovega delovanja (24-urno pokrivanje določenega geografskega območja – npr. Severne in Južne Amerike) (Pace in drugi 1995, 240).

⁷ Binarni signal podoben naključnemu šumu. Ustvarja ga matematični algoritem in je sestavljen iz ponavljajočih se vzorcev 1 in 0. Signala C/A in P sta primera PRN signala. Vsak satelit prenaša edinstveno C/A in P-kodo.

Navkljub vsemu pa ni bilo pravega napredka v razvoju Sistema 621B do leta 1973, med drugim tudi zaradi povečanega zanimanja za področje satelitske navigacije, ki je spodbudilo tudi druge za razvoj konkurenčnih sistemov. Do konca šestdesetih let so mornarica, letalske sile in kopenska vojska vsak zase razvijali lasten neodvisen navigacijski sistem, ki bi omogočal neprestano delovanje v vseh vremenskih pogojih z veliko natančnostjo določanja položaja. Tako je Applied Physics Laboratory posodobil sistem Transit in ga želel nadgraditi, v mornariškem raziskovalnem laboratoriju so izpostavljali razširjen sistem Timation in celo kopenska vojska je predlagala uporabo svojega sistema SECOR (Sequential Correlation of Range).⁸ Da bi lažje uskladili delo vseh skupin, ki so se ukvarjale s satelitsko navigacijo, je ministrstvo za obrambo leta 1968 ustanovilo združen tridelni odbor, imenovan NAVSEG (Navigation Satellite Executive Group). Odbor se je naslednjih nekaj let odločal o tem, kakšne naj bodo lastnosti bodočega satelitskega navigacijskega sistema (število satelitov, njihove orbite, tip signala, modulacijske tehnike ipd.) in koliko naj bi tak sistem stal (Pace in drugi 1995, 240).

Aprila 1973 je namestnik ministra za obrambo končno imenoval letalske sile kot vodilno agencijo za združitev različnih satelitskih navigacijskih konceptov v enotnega, ki bi ga uporabljale vse sile in bi se imenoval DNSS (Defense Navigation Satellite System).⁹ Novi sistem naj bi razvili s sodelovanjem vseh vojaških služb v Uradu za skupni program – JPO (Joint Program Office),¹⁰ ki je deloval v okviru Organizacije za vesoljske in raketne sisteme – SAMSO (Space and Missile Systems Organization).¹¹

Do septembra leta 1973 so že razvili kompromisni sistem, ki je združeval najboljše značilnosti vseh prejšnjih sistemov. Oblika in frekvenca signala sta bila vzeta iz sistema 621B, orbite satelitov pa so temeljile na Timationovih, le da so bile višje. Čeprav sta oba sistema predvidevala uporabo atomskih ur, jih je le mornarica testirala v praksi.

⁸ *Majhni geodetski sateliti ameriške kopenske vojske iz šestdesetih let, ki so jih potrebovali predvsem za svoje storitve kartografiranja.*

⁹ *Predhodno ime sistema Navstar, ki je nastalo ob združitvi Timationa in sistemov 621B.*

¹⁰ *V luči zmanjševanja obrambnih izdatkov ter večje preglednosti nad programi razvoja in vodenja določenih oborožitvenih sistemov so se na številnih področjih znotraj vojske pojavili skupni uradi, ki koordinirajo takšne programe (Joint Strike Fighter, JDAM id.).*

¹¹ *Leta 1967 ponovno združeno poveljstvo za razvoj balističnih in vesoljskih sistemov, ki danes deluje pod imenom Space and Missile System Center znotraj losangeleške letalske baze.*

Sistem, ki se je iz tega razvil, je danes poznan pod imenom NAVSTAR Global Positioning System – NAVSTAR GPS. Tako je decembra istega leta ministrstvo za obrambo odobrilo JPO-ju začetek izgradnje satelitskega navigacijskega sistema NAVSTAR (Pace in drugi 1995, 240–241).

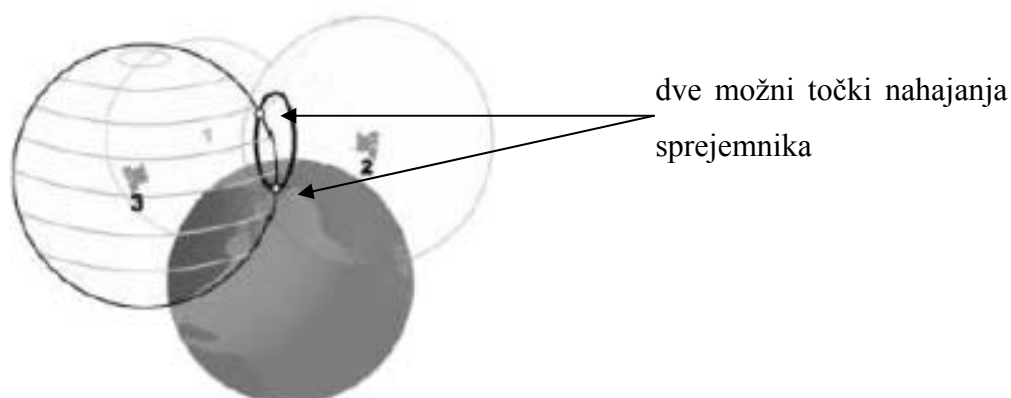
3.2 DELOVANJE

Sprejemnik GPS oz. vsak sprejemnik GNSS uporablja signal iz satelitov za izračun svojega položaja. Razdaljo do satelitov izračuna z uporabo merjenja časa potovanja radijskih signalov od satelitov do sprejemnika. Da lahko izmeri čas, pa morajo biti ure v satelitih in tista v sprejemniku časovno usklajene. Sama razdalja do satelitov pa še ni dovolj za natančno določitev položaja sprejemnika, zato potrebujemo tudi podatke, kje natančno v vesolju se sateliti nahajajo. Več o orbitah satelitov si lahko preberete v poglavju 3.3.4.1.

3.2.1 TRILATERACIJA

Sistem GPS je osnovan na konceptu trilateracije. Ta pravi, da potrebujemo za določitev svoje točne lokacije vsaj tri referenčne točke – to je kraje, katerih točno lokacijo že poznamo. Sečišče razdalj od referenčnih točk je naš položaj. V sistemu GPS so to razdalje do satelitov. Ko z opazovanji pridobimo razdalje do satelitov GPS, nadalje položaj določimo s presekom krogel, katerih polmer je enak opazovanim razdaljam satelit–sprejemnik. Za neznano določitev položaja v 3D-prostoru bi morali imeti na voljo razdalje od najmanj treh satelitov, vendar šele četrta razdalja omogoča določitev razlike urinega stanja sprejemnikove ure (glede na nominalni GPS-čas). Sprejemnik GPS je med izmero lahko v gibanju, vendar je natančnost določitve položaja odvisna tudi od trajanja opazovanj na posameznem stojišču. Poleg tega na natančnost položaja vplivajo še drugi faktorji: kakovost sprejemnika GPS, geometrijska razporeditev satelitov in sprejemnika ter način obdelave (Stopar 2005, 375).

Slika 3.1: *Koncept trilateracije v treh dimenzijah*



Vir: HubPages (2012).

3.2.2 MERJENJE RAZDALJE DO SATELITA

Za izračuna razdalje od satelitov uporabimo preprosto enačbo: razdalja = hitrost \times čas. Hitrost elektromagnetnega valovanja v vesolju je enaka hitrosti svetlobe (pribl. 299.792,5 km/s), zato je neznanka v enačbi za izračun razdalje samo še čas, ki ga signal potrebuje za prepotovano razdaljo od satelitov do sprejemnika.

Meritve časa potovanja signala se dosežejo s časovnim označevanjem signala. To deluje na naslednji način: satelit začne z oddajanjem digitalnega vzorca (PRC – Pseudo Random Code ali PRN) ob določenem času. Ob enakem času začne tudi sprejemnik poganjati enak digitalni vzorec. Ko signal prispe do sprejemnika, bo njegov vzorec zaostajal za vzorcem sprejemnika. Ta zamik predstavlja čas, ki ga signal potrebuje za prepotovano razdaljo od satelita do sprejemnika (Lissai 2006, 26).

3.2.3 ZGRADBA SIGNALA

Sateliti GPS v osnovi oddajajo dva signala, ki ju lahko uporabljamo za pozicioniranje. Razlog za uporabo dveh signalov različnih frekvenc je izločanje napak, ki nastanejo zaradi ionosferske refrakcije. Signala, ki sta generirana iz skupnega osnovnega izvora ure frekvence $f_0 = 10,23$ MHz, sta L_1 pri 1575,42 MHz in L_2 pri 1227,60 MHz. Imenujemo ju tudi nosilca oz. nosilna signala. Pri modernizaciji signala GPS imajo najnovejši sateliti tudi določene izboljšave, kot sta nov signal L_{2C} za civilno uporabo,

nov signal L5 (1176,45 MHz) z novo kodno modulacijo ter seveda modernizirani M-kodi na L₁ in L₂ nosilnih frekvencah.

Ti dve osnovni frekvenci sta potem modulirani z navidezno naključno sekvenco 0 in 1 oz. s kodo PRC (angl. Pseudo Random Code, tudi Pseudo Random Noise – PRN) in z navigacijskim sporočilom. Tehnika se imenuje široko spektrovna modulacija in omogoča simultano oddajanje posameznih satelitov, ne da bi se motili med sabo in bili moteni od signalov drugih virov.

Signal NAVSTAR GPS je sestavljen iz treh delov (zelo podobna sta tudi signala sistemov Galileo in GLONASS):

Nosilni val (angl. Carrier wave)

Nosilna signala imata čisto sinusno obliko in ju zato ne moremo enostavno uporabiti za namene določanja položaja, temveč ju pri GPS-u moduliramo z dvema binarnima kodama. To sta koda C/A (angl. Coarse Acquisition)¹² in koda P (angl. Precise).¹³

Podatki o navigaciji

Navigacijsko sporočilo je koda 50 bps (50 bitov v sekundi), modulirana na nosilni valovanji vsakega satelita z drugimi kodami. Gre za sporočilo, kjer poteka oddaja podatkov 30 sekund v logičnih enotah, imenovanih okvirji (dolžina je 1500 bitov). Satelit odda okvir navigacijskega sporočila vsako minuto oz. na polovico minute, odvisno od tipa vgrajenih ur. Okvir navigacijskega sporočila sestavlja pet podokvirjev, dolgih 300 bitov (slika 3.2). Podokvirji 1, 2 in 3 vsebujejo podatke o stanjih satelitovih ur in podatke oddanih efemerid.¹⁴ Ti podatki so specifični za posamezne satelite, kar pomeni, da satelit oddaja izključno lastne podatke. Podokvirja 4 in 5 sta za vse satelite enaka, vendar po vsebini podatkov specifična, saj ima vsak podokvir naslednjega okvirja drugačno vsebino podatkov. Da dobimo navigacijsko sporočilo v popolni obliki,

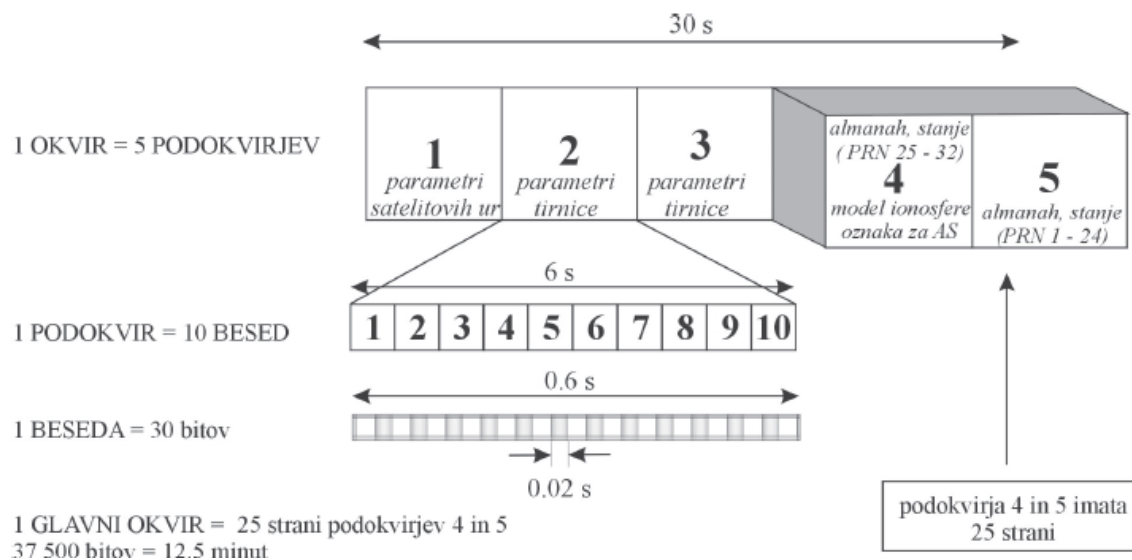
¹² *Ena izmed binarnih kod, s katero je moduliran signal GPS, sestavljena je iz 1023 elementov, imenovanih »chip« in se ponovi vsako milisekundo.*

¹³ *Ena izmed binarnih kod, s katero je moduliran signal GPS, namesto 1023 elementov, kot jih ima koda C/A, je tu teh elementov več milijonov, celoten signal traja 267 dni. Sateliti oddajajo tedenske segmente, ki se izmenjujejo tedensko.*

¹⁴ *Astr.: periodična publikacija s podatki o legah nebesnih teles. Termin efemeride uporabljamo za predstavitev digitalne publikacije s podatki za določitev položajev satelitov.*

moramo s sprejemnikom sprejeti 25 zaporednih okvirjev navigacijskega sporočila (ker vsak okvir vsebuje drugačne podatke v podokvirjih 4 in 5), kar traja 12,5 minut. Satelit začne oddajati enak niz vsebine novih podatkov v sporočilih 4 in 5, ko dobi nove podatke iz glavne kontrolne postaje (Pavlovčič Prešeren in Stopar 2004, 153).

Slika 3.2: *Struktura navigacijskega sporočila*



Koda

C/A (angl. Coarse Acquisition) – je psevdonaključna binarna koda (stanji 0 in 1), sestavljena iz 1023 elementov, imenovanih »chip«, in se ponovi vsako milisekundo. Izraz psevdonaključen pomeni, da je koda naključna, vendar generirana z uporabo več znanih procesov. Elementi so z bitno hitrostjo 1023 Mbps modulirani na nosilni signal, kar pomeni, da dolžina enega elementa ustreza 300 metrom, celotna koda C/A pa ima potem dolžino približno 300 km. Z drugimi besedami, celoten vzorec C/A se ponovi vsakih 300 km na poti med oddajnikom in sprejemnikom. Dobljeno kodno zaporedje poznamo tudi pod imenom »zlata koda«, ima dobre avto- in križnokorelacijske lastnosti. Križnokorelacijska lastnost zlate kode pomeni, da ima korelacijska funkcija dveh različnih zaporedij majhno vrednost. To pa je zelo uporabna lastnost, na podlagi katere sprejemniki GPS razlikujejo med signali, prejetimi z različnih satelitov (Lissai 2006, 27).

Koda P (Precise) – je dolga binarna koda, ki se ponovi vsakih 267 dni. Koda je skrajšana na enotedensko ponovljivost, sateliti pa oddajajo različne tedenske dele kode.

Hiter dostop do ustreznega dela kode, ki pripada določenemu satelitu, se določi s pomočjo informacije, zapisane v oddajnem podatkovnem sporočilu. Bitna hitrost elementov (chipov) kode P znaša 10,23 MHz, kar predstavlja dolžino elementa 30 metrov. Za izključitev neavtoriziranega dostopa do P-signala, ga lahko ZDA kriptirajo s t. i. segmentom Anti Spoofing¹⁵ (AS) (Sistemom proti poneverbam). Takšno kodo potem označujemo kot »Y-kodo« (Lissai 2006, 28).

3.2.4 NAČINI DOLOČANJA POLOŽAJA

Poznamo dve metodi določanja položaja s pomočjo GPS-a, to sta:

- korelacija kode nosilnega valovanja z valovanjem, generiranim v sprejemniku, t. i. kodni način in
- primerjava faze sprejetega in v sprejemniku vzpostavljenega valovanja, t. i. fazni način.

Fazni način je precej bolj natančen od kodnega, zato kakovostna določitev položaja temelji na kodnem in faznem načinu. Točnost določitve položaja na osnovi opazovanja GPS je odvisna od številnih vplivov. Ti imajo izvor v položaju satelitov, mediju širjenja signalov, sprejemniku/anteni, neposredni okolici in programski obdelavi. Kadar opazovanja izvajamo z enim sprejemnikom, povzroči vsota vseh vplivov napako v določitvi položaja tudi več deset metrov (Kozmus in Stopar 2003, 404).

Na natančnost določitve položaja ima vpliv tudi upravljavec sistema GPS s specifičnimi mehanizmi. Mehanizem izbirne razpoložljivosti S/A¹⁶ je bil odstranjen maja 2000, še vedno pa lastnik sistema (ameriška vlada) degradira natančnost z zamenjavo kode P in Y, do katere imajo dostop le pooblaščen (vojaški) uporabniki.

Sateliti GPS oddajajo signale na dveh frekvencah, L_1 in L_2 . Cenejši sprejemniki GPS lahko sprejemajo in obdelujejo zgolj signale na frekvenci L_1 , programska oprema v boljših in dražjih sprejemnikih pa omogoča sprejem in obdelavo signalov na obeh

¹⁵ *Anti Spoofing: način kodiranja P-signala (kodiran P-signal postane Y-signal, znan tudi kot PPS – Precise Positioning Service), s katerim preprečimo spremljanje neavtoriziranim uporabnikom.*

¹⁶ *Namerno motena ura satelita GPS na frekvenci L_1 , z namenom omejitve natančnosti določanja položaja.*

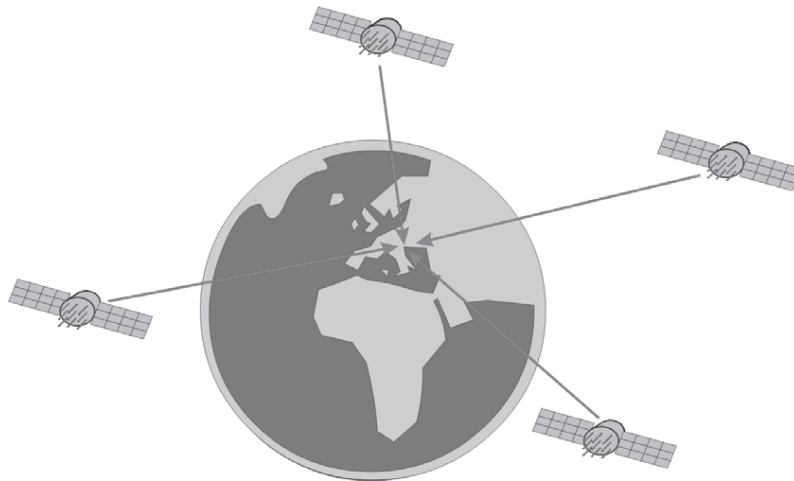
frekvencah. Sprejemnike za opazovanja GPS torej razlikujemo po načinu obdelave signalov (samo kodni ali kodni in fazni način), frekvenčnem razponu (samo L_1 ali L_1 in L_2), poleg tega pa še po vsebnosti elektromagnetnega šuma, pomnilniških sposobnostih ter po obliki, velikosti in masi (Kozmus in Stopar 2003, 405).

V nadaljevanju sledi pregled metod določanja položaja s satelitskimi tehnikami, ki se trenutno uporabljajo. Navedene metode in natančnosti se nanašajo na sistem NAVSTAR GPS. Od teh bosta natančneje predstavljeni samo absolutna metoda in DGPS,¹⁷ ki sta za vojaško uporabo najbolj zanimivi. Metoda fazne relativne določitve položaja in metoda preciznega določanja položaja pa sta uporabni predvsem v geodeziji.

3.2.4.1 Absolutna določitev položaja

Opazovanja izvajamo s samostojnim sprejemnikom. Določitev položaja poteka na podlagi psevdorazdalj (razdalje niso prave, ker so obremenjene z vplivi – glej poglavje 3.2.4) od satelitov do sprejemnika, kot je prikazano na sliki 3.3 spodaj.

Slika 3.3: Določitev absolutnega položaja na osnovi opazovanj GPS



Vir: Stopar (2005, 375).

¹⁷ Metoda, s katero zmanjšamo atmosferske vplive na natančnost signala s pomočjo referenčne postaje, ki je postavljena na lokacijo z znanimi koordinatami. Njena naloga je določanje korekcije, ki jo nato upoštevajo sprejemniki DGPS pri preračunavanju položaja. S tem dosežemo natančnost tudi pod 1 m.

Uporabo metode omogočajo najcenejši instrumenti na trgu. Ti obdelujejo signale na kodni način in so enofrekvenčni, saj je civilna koda C/A (angl. Coarse Acquisition), ki je dostopna vsem, modelirana zgolj na frekvenci L_1 (Kozmus in Stopar 2003, 405–407).

3.2.4.2 Diferencialni GPS

Diferencialni GPS (DGPS) je bil zasnovan, da bi izboljšali natančnost določanja položaja, ki jo ponujajo sprejemniki GPS. Dejavniki netočnosti, ki jih skuša DGPS izločiti, so časovna zamuda signala zaradi atmosferskih vplivov, širjenje signala po več poteh zaradi odboja od ovir v zraku ali na tleh ter napake zaradi satelitove in sprejemnikove ure. Pri DGPS gre za določitev položaja sprejemnika, katerega položaj določamo, in uporabo popravkov opazovanj, ki so pridobljena z referenčnim sprejemnikom. Z DGPS lahko pridobimo položaj s centimetrovsko natančnostjo, za to pa potrebujemo vsaj en referenčni sprejemnik (oddaljen maksimalno 100 km), katerega položaj mora biti znan. Sprejemniki, ki so med seboj oddaljeni tudi več 10 km, so glede na oddaljenost satelitov (okoli 20.000 km) relativno blizu skupaj, torej so vplivi pri potovanju signala skozi atmosfero zelo podobni. To dejstvo se izkorišča za doseg precej višje natančnosti določitve položaja točk. Vplivi, ki jih odstrani določitev relativnega položaja in tudi DGPS, so: urino stanje in urin tek satelitovih ur, tirnice satelitov ter vpliv troposfere in ionosfere (Kozmus in Stopar 2003, 407).

Ena izmed diferencialnih metod je metoda RTK (angl. Real Time Kinematic). Pri tej metodi določamo položaj koordinat detajlnih točk v realnem času in lokalnem koordinatnem sistemu. Za operativno uporabo te metode so potrebni:

- dvofrekvenčni sprejemniki GPS,
- močna računalniška podpora za real-time izračun opazovanj ter
- priročne in zmogljive radijske povezave med premičnimi in baznimi postajami.

Sistem RTK sestavljata referenčna in premična postaja. Referenčna postaja sprejema signal z vseh vidnih satelitov in računa korekcijske elemente kot razliko med danimi koordinatami in izračunanimi koordinatami WGS84.¹⁸ Korekcije se računajo sproti in skupaj s podatkom o času, v katerem so nastali, tvorijo t. i. korekcijo RTK in jo pošljejo

¹⁸ *World Geodetic System 1984 – ime svetovnega geodetskega sistema, gre za geocentrični geodetski datum, ki ga od januarja 1987 uporablja GPS; ima lastni referenčni elipsoid WGS 84.*

prek radijskega modema v eter. Premična postaja prav tako računa svoj položaj na podlagi opazovanj z vseh vidnih satelitov, k temu položaju pa prišteje parametre korekcije RTK, ki jih dobi od referenčnega sprejemnika prek radijskega modema. Ta preračun se izvaja sproti, tako da dobimo natančen položaj obeh sprejemnikov v sistemu WGS84. Za preračun v lokalni koordinatni sistem je treba opraviti ustrezno pretvorbo koordinat (Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje 2005).

Ker je referenčni sprejemnik v primeru DGPS opremljen tudi z opremo, ki omogoča izračun popravkov opazovanj in njihovo distribucijo, govorimo o referenčni postaji. Referenčna postaja je lahko ena sama, lahko jih je več, ki delujejo samostojno, ali pa so povezane v omrežje postaj. Če so referenčne postaje povezane v omrežje, govorimo o mrežnem konceptu RTK. V tem primeru se podatki opazovanj referenčnih postaj pridobivajo, obdelujejo in distribuirajo iz enega mesta – računskega centra omrežja. V Sloveniji je tako omrežje SIGNAL.¹⁹

Diferencialnega GPS pa ne moremo vedno uporabljati na način, ki je opisan zgoraj, na primer v letalstvu ne moremo uporabljati zemeljskih referenčnih postaj, ki bi nam zagotavljale popravke. Ravno za potrebe v letalstvu so bili razviti satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj, t. i. sistemi SBAS – Satellite Based Augmentation System (Satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj),²⁰ ki svoje meritve posredujejo geostacionarnim satelitom, ki potem oddajajo popravke. Na območju ZDA deluje sistem WAAS (Wide Area Augmentation System), v Evropi imamo EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), obstajajo pa še drugi.

3.3 NAVSTAR GPS

3.3.1 PRVA FAZA (1974–1979)

Prva faza izgradnje NAVSTAR GPS-a je bila namenjena testiranju koncepta, predstavitvi njegovega potenciala in željenega modela. Sprva je bilo za program (torej

¹⁹ Kratica imena slovenskega državnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj. V omrežje je vključenih 15 stalnih postaj GPS.

²⁰ Kratica skupnega imena za satelitske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj, kot so npr. evropski EGNOS, ameriški WAAS, japonski MSAS itd.

za štiri satelite, izstrelitvena vozila, nadzorno središče, uporabniško opremo in testiranje) predvidenih 100 milijonov dolarjev, vendar so ti stroški komaj zadoščali za izdelavo satelitov.

Prva satelita v sistemu NAVSTAR sta bila pravzaprav dva prenovljena satelita sistema Timation. Znana sta bila pod imenom NTS 1 in 2 (Navigation Technology Satellite),²¹ v sebi pa sta imela prvo atomsko uro, ki je bila izstreljena v vesolje. Čeprav sta delovala malo časa po njunih izstrelitvah leta 1974 in 1977, sta potrdila pravilnost koncepta določanja položaja s pomočjo časovnih zamikov v oddajanju radijskih signalov prek razpršenega spektra in točnosti časa, pridobljenega s pomočjo atomskih ur. Zato so takoj za njimi izstrelili še številne druge razvojne satelite, znane pod imenom Block I (skupaj jih je bilo 11), čeprav je bila pričakovana operativna doba tri leta, so marsikateri sateliti zdržali tudi deset let in več (Pace in drugi 1995, 241).

Še preden so izstrelili prve Block I satelite, je vojska zanje že načrtovala »dvojno vlogo«. ²² Poleg navigacije in natančnega določanja časa naj bi imeli sateliti vgrajene tudi senzorje za zaznavanje jedrskih eksplozij (NUDET – nuclear detonation). S tem naj bi tudi lažje izvajali in nadzirali države podpisnice dogovora o prepovedi testiranja jedrskega orožja. Šesti satelit v seriji Block I (izstreljen 26. aprila 1980) je bil prvi s senzorjem NUDET. Uporaba satelitov pri zaznavanju jedrskih eksplozij ni bila nova stvar, saj je tak sistem deloval že od ratifikacije Sporazuma o omejitvi testiranja jedrskih eksplozij v atmosferi, pod vodo in v vesolju leta 1963 med Združenimi državami Amerike in takratno Sovjetsko zvezo. Da bi lažje nadzirale sporazum, so ameriške zračne sile in Komisija za jedrsko energijo (današnje Ministrstvo za energijo) skupno razvile serijo satelitov za zaznavanje jedrskih eksplozij, znanih pod imenom Vela. Od takrat so senzorje NUDET vgradili v vrsto drugih satelitov ministrstva za obrambo, tudi v satelite NAVSTAR GPS, s čimer so želeli izboljšati obstoječo mrežo satelitov (Jasani 1994, 1–3). Vsi sateliti, ki trenutno sestavljajo mrežo NAVSTAR GPS, imajo vgrajene senzorje za zaznavanje jedrskih eksplozij in predstavljajo pomemben del pri

²¹ Prva satelita v sistemu NAVSTAR sta bila pravzaprav dva prenovljena satelita sistema Timation, znana sta bila pod imenom NTS 1 in 2, v sebi pa sta imela prvo atomsko uro, ki je bila izstreljena v vesolje.

²² Ang.: dual use technology.

prizadevanjih ZDA za nadzor Sporazuma o neširjenju jedrskega orožja (NPT – Nuclear Non-Proliferation Treaty),²³ podpisanega leta 1968 (Pace in drugi 1995, 241–242).

Testiranje opreme GPS se je pričelo marca 1977, preden je bil izstreljen sploh katerikoli satelit. Postavili so sistem zemeljskih oddajnikov na sončno energijo v vojaškem oporišču Yuma Proving Ground, da bi simulirali delovanje sistema satelitov GPS, in do leta 1978 je JPO izvedel testiranje različne opreme, nameščene na letalih, helikopterjih, ladjah, tovornjakih, džipih in celo v 12 kg težkih vojaških nahrbtnikih. Zadnji segment GPS-a – zemeljski nadzorni sistem – so zgradili v oporišču ameriških zračnih sil v Vandenbergu (v Kaliforniji) in s tem so leta 1979 dobili zeleno luč za masovno proizvodnjo in razvoj (Pace in drugi 1995, 242).

3.3.2 DRUGA FAZA (1980–1989)

V začetni fazi razvoja je GPS doživljal veliko pretresov. Prvo nazadovanje se je zgodilo leta 1979, ko je Kabinet ministra za obrambo zmanjšal proračun, namenjen razvoju sistema v letih 1981–1986 kar za tretjino (takratnih 500 milijonov dolarjev). Kot posledica je bil sistem restrukturiran in območje delovanja okrnjeno, saj je v orbitah krožilo le 18 od sprva predvidenih 24 satelitov (plus trije rezervni), opustili so tudi program satelitov Block II²⁴ (Pace in drugi 1995, 243).

Financiranje projekta je bilo v začetni fazi nestabilno, saj GPS ni bil običajno orožje z jasno nalogo in celo zgodovino natančno opredeljenih operacijskih konceptov. Zato je bilo dojemanje vrednosti sistema s strani takratnih vojaško-političnih krogov bolj oteženo kot s tanki ali z letali. To je povečevalo potrebo po prodaji sistema vsem mogočim uporabnikom. JPO je opozoril na ta problem že med prvo fazo razvoja in je zato poudarjal eno najbolj otipljivih zmožnosti GPS-a: povečano natančnost bombardiranja. Dejstvo, da je bil GPS skupen projekt večih interesentov, je povečevalo potrebo po prodaji uslug mnogim strankam. Nihče ni želel prevzeti celotnega finančnega bremena nase za sistem, ki bi ga uporabljale še številne druge službe. Prav

²³ NPT je sporazum, s katerim se je pet priznanih držav z jedrskim orožjem, ki so izvedle eksplozijo jedrskega orožja pred 1. 1. 1967, zavezalo, da državam brez jedrskega orožja ne bodo posredovale jedrskega orožja ter materiala, znanja in tehnologije za njegovo izdelavo.

²⁴ Število satelitov so leta 1988 povečali na prvotno načrtovanih 24 (plus tri rezervne), saj je bilo delovanje samo 18 nezadovoljivo.

zaradi tega je sistem imel sprva finančne težave, saj so program popolnoma črtali iz proračuna med leti 1980 in 1982, kasneje pa je prav Kabinet ministra za obrambo poskrbel za njegovo ponovno uvrstitev v proračun in tako pripomogel k preživetju programa. Dodaten udarec je sistem doživel leta 1986, po nesreči vesoljskega plovila Challenger. Ker je bilo to edino plovilo, načrtovano za izstrelitev satelitov v orbito, je nesreča povzročila 24-mesečno zamudo pri izstrelitvi druge generacije satelitov GPS – Block II. Prvi satelit druge generacije so navsezadnje izstrelili februarja 1989 s Cape Canaverala in je že dva meseca pozneje postal že popolnoma aktiven. Od takrat so izstrelili še 23 takšnih satelitov, ki jih je izdelala družba Rockwell International. Od satelitov prve generacije so se razlikovali v obliki, teži in vgrajenih konstrukcijskih lastnostih, ki so vplivale na varnost in integriteto sistema.²⁵ Med številne izboljšave pri satelitih druge generacije lahko uvrstimo naslednje:

- boljše zaščito elektronskih delov pred sevanjem,
- polno zmožnost izbirne razpoložljivosti (S/A – Selective Availability) in sistema proti prevaram (AS – Anti Spoofing) ter
- avtomatsko zaznavo določenih napačnih stanj, kar ščiti uporabnike pred sledenjem napačnega satelita in izboljšuje integriteto sistema.

Sateliti druge generacije, izstreljeni po letu 1989, vsebujejo dodatno zmožnost delovanja do 180 dni brez kontakta s strani kontrolnega segmenta na Zemlji. Ti sateliti se imenujejo Block IIAs in predstavljajo velik napredek glede na starejše različice, ki so potrebovale stik s kontrolnim segmentom vsake tri dni in pol. Napredka sta bila deležna tudi nadzorni in uporabniški segment sistema. Kot del prehoda na operativno delovanje je bil nadzorni segment prenešen v letalsko oporišče v Falconu (v Koloradu). Dokončali so testiranje sistema in uspešno dokazali interoperabilnost med zemeljskimi nadzornimi postajami, sateliti in končnimi uporabniki. Do konca prejšnjega stoletja naj bi vgradili približno 17.000 sprejemnikov GPS v ameriška vojaška letala in izdelali 60.000 prenosnih sprejemnikov za potrebe kopenske vojske (Pace in drugi 1995, 243–244).

²⁵ Varnost je mišljena kot skupek značilnosti, vgrajenih v GPS, ki lahko onemogoči podporo za nepooblaščen uporabnike, onemogoči prevare in zmanjšuje sprejemnikovo podvrženost motenju (viden močan vpliv vojaških krogov). Integriteta pa označuje zmožnost sistema, da pravočasno opozori uporabnike, kdaj sistema ni priporočljivo uporabljati za navigacijo.

3.3.3 NAVSTAR GPS OD LETA 1990 DO DANES

Kriza v Perzijskem zalivu v letih 1990 in 1991 je predstavljala prvi resni test za uporabo GPS-a v vojnem stanju,²⁶ ki ga je, po rezultatih sodeč, preстал odlično. Nekateri pravijo, da je GPS povzročil pravo revolucijo v bojnih operacijah na Zemlji in v zraku med operacijo Puščavska nevihta in da je predstavljal enega izmed dveh kosov opreme, ki sta zagotovila zmago (drugi naj bi bil oprema za nočno gledanje) (Rip in Lusch 1994, 167–241). Izmed vseh načinov uporabe GPS-a med zalivsko vojno se je navigacija izkazala za ključno tehnologijo v puščavskem vojskovanju (str. 171). S pomočjo satelitov GPS so lahko koalicijske sile 24 ur na dan upravljale, manevrirale in streljale s prej nevideno natančnostjo v prostranem puščavskem ozemlju,²⁷ navkljub pogostim puščavskim nevihtam, majhnemu številu asfaltiranih cest, nični vegetaciji in maloštevilnim naravnim orientacijskim objektom. Čeprav je v povprečju vsaka ameriška četa imela vsaj en sprejemnik GPS, so potrebe po njih prisilile vojsko, da je med samo operacijo naročila več kot 10.000 komercialnih enot. Poleg tega so bile s pomočjo GPS-a tudi ostale operacije mnogo lažje izvedljive, kot so natančno bombardiranje, podpora artileriji, natančno določanje položaja manevrskih enot ter akcije iskanja in reševanja vojakov. Ne samo, da so sistem uporabljali v pehotnih enotah, ampak so sprejemnike GPS pritrjevali na vsa možna vozila in helikopterje, letala F-16, tankerje KC-135 in bombnike B-52 (Pace in drugi 1995, 245).

Od vojne v Perzijskem zalivu so GPS uporabljali še v številnih drugih vojaških in mirovnih operacijah. Med operacijo Obnovljeno upanje leta 1993 so GPS uporabljali za letalsko dostavo hrane v oddaljenih predelih Somalije, kjer so bile karte izredno pomanjkljive. Med vojno na Balkanu so s pomočjo GPS-a dostavljali hrano in nujno medicinsko pomoč z letali ponoči (Pace in drugi 1995, 245–246).

²⁶ GPS je odigral le manjšo vlogo v vojaških operacijah v osemdesetih letih (ameriška mornarica je uporabila GPS za določanje minskih polj v Perzijskem zalivu v letih 1987 in 1988, ameriške zračne sile pa med intervencijo v Panami decembra 1989 (operacija Pravični vzrok – *Just Cause*), da so popravili položajne nepravilnosti pri zemljevidih, ki so napačno prikazovali položaje ključnih mostov v državi).

²⁷ Šestnajst satelitov GPS je bilo aktivnih v času operacije Puščavska lisica. Satelite, izstreljene v tem času, so prilagodili, da so bolje pokrivali krizno območje.

3.3.4 TRENUTNO STANJE IN DELOVANJE

NAVSTAR GPS je sestavljen iz treh glavnih segmentov: vesoljskega dela, nadzornega dela in uporabniškega dela.

3.3.4.1 Vesoljski del

Vesoljski segment je trenutno sestavljen iz 35 satelitov,²⁸ in sicer: 32 satelitov je aktivnih in skrbijo za navigacijo, trije pa so v orbitah kot rezervni sateliti (Langley 2009, 8–10). Sateliti so operativni na 20.200 kilometrskih krožničnih orbitah okoli Zemlje, kjer en krog opravijo v 11,996 ure. Vsak satelit se premika s hitrostjo približno 6,8 km/s. Vseh šest orbitalnih ravnin (označenih s črkami od A do F) je nagnjenih za približno 55° v primerjavi s polarno ravnino in imajo 12-urno orbitalno periodo. Zaradi takšne orbitalne višine pa sateliti opravijo isto pot vsakih 24 ur minus 4 minute, to pa zaradi nagnjenosti zemeljske osi in njene eliptične oblike. Takšne nastavitve omogočajo, da lahko uporabniki kjerkoli in vedno sprejemajo signal 5–8 satelitov (Grewal in drugi 2007, 2).

Vsak satelit ima tri številke, ki služijo identifikaciji. Prva je številka NAVSTAR, ki opredeljuje specifično strojno opremo satelita, druga je številka plovila (SVN – Space Vehicle Number),²⁹ ki jo dodelijo ob izstrelitvi, tretja številka pa je izmišljena naključna številka (PRN – PseudoRandom Noise), ki predstavlja unikatno celo število, s katerim kodirajo signal s satelita.

Obstaja več različnih skupin satelitov NAVSTAR GPS, ki jih imenujemo Bloki (Block). Sateliti iz prve skupine (Block-I) so bili namenjeni testiranju delovanja. Z izstrelitvijo prvega satelita iz te skupine so pričeli 22. 2. 1978. V naslednjih osmih letih, med letoma 1978 in 1985, so izstrelili še deset testnih satelitov. Sateliti iz druge skupine (Block-II) so bili prvi popolnoma delujoči sateliti v sistemu, ki so že imeli vgrajeno cezijevo atomsko uro ter tudi zmožnost izvajanja izbirne razpoložljivosti (S/A – Selective Availability) in varnostnega sistema proti prevaram (AS – Anti-Spoofing). Od februarja leta 1989 do danes so zračne sile ZDA uspešno utirile 30 satelitov iz skupine Block-II,

²⁸ Trenutno stanje konstelacije satelitov si je mogoče ogledati na naslednji povezavi: <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>.

²⁹ Številka satelita v sistemu Navstar, ki jo dodelijo ob izstrelitvi.

medtem ko so vsi sateliti iz serije Block-I že izven uporabe. Tik pred operacijo Puščavski vihar je bilo v orbitah deset satelitov iz skupine Block-II in šest iz skupine Block-I. Tako je teh 16 satelitov zagotavljajo koalicijskim silam med zalivsko vojno v Perzijskem zalivu 22,5-urno 2-D in 16,75-urno 3-D zmožnost določanja položaja (Hasik in Rip 2003, 72).

Da bi zadovoljili minimalne operativne zahteve, ministrstvo za obrambo v ZDA upravlja s sistemom z najmanj 24 sateliti, s čimer lahko zagotovi, da jih bo vsaj 21 dosegljivih 98 % časa. Stroški za vzdrževanje minimalne dostopnosti sistema satelitov (s popolnim številom satelitov) znašajo približno 400 milijonov dolarjev na leto. V ta znesek je všteta cena posameznega satelita (30–40 mio \$), rakete, ki satelit ponesejo v vesolje (30–40 mio \$), in stroški izstrelitve (15–20 mio \$). Po trenutnih ocenah življenske dobe satelitov so potrebne za vzdrževanje minimalnih operativnih zahtev 3–4 izstrelitve letno. Prav tako je treba upoštevati stroške nadzornega segmenta na Zemlji in njegove potrebne bodoče nadgraditve, ki znašajo približno 30 milijonov dolarjev letno (Hasik in Rip 2003, 73).

3.3.4.2 Nadzorni segment

Nadzorni del NAVSTAR GPS-a, imenovan OCS – Operational Control System (operativni nadzorni sistem), predstavljajo vse zemeljske postaje, ki nadzirajo satelite. OCS je sestavljen iz petih pasivnih nadzornih postaj, od tega imajo štiri postaje tudi aktivne nadzorne antene. Obstaja tudi peta aktivna antena na Floridi (baza zračnih sil ZDA Cape Canaveral), ampak se običajno uporablja samo za preverjanje satelitov pred izstrelitvijo. Pasivne nadzorne postaje, ki se nahajajo v Colorado Springs ter na otokih Havaji, Diego Garcija, Kwajalein in Ascencion, uporabljajo sprejemne antene za spremljanje vseh satelitov in njihovih podatkov. Te podatke nato pošljejo v Glavno nadzorno postajo (MCS – Master Control Station), ki se nahaja v oporišču zračnih enot Schriever blizu Colorada Springsa. Tu jih obdelajo ter po potrebi določijo nove orbite in navigacijska sporočila posameznega satelita. Dandanes je norma nekje po dve posodobitvi podatkov na dan na satelit, čeprav potrebujejo starejši sateliti več posodobitev, ker so imeli težave z nadzorom optimalne orbite.

Sistem satelitov NAVSTAR nadzirata in z njim upravljata prvi ter drugi oddelek ameriških zračnih sil za vesoljske operacije (SOPS – Space Operations Squadron). Prvi oddelek je odgovoren za izstrelitev, usmerjanje satelita v orbito in nepričakovane operacije, medtem ko je drugi oddelek odgovoren za vsakodnevne naloge spremljanja satelitov in možne korekture podatkov. Glavna nadzorna postaja sprejema podatke od nadzornih postaj 24 ur na dan, nadzirajo pa vse vidike satelita: točnost ure, efemeride, delovanje komponent. Iz pridobljenih podatkov izračunajo nove navigacijske in efemeridne podatke in jih skupaj z rutinskimi kontrolnimi ukazi pošljejo satelitom prek radijskega signala na frekvenčnem spektru S med 1,55 in 5,2 GHz.

Slika 3.4: Nadzorne postaje NAVSTAR GPS-a

NAVSTAR GPS - NADZORNE POSTAJE



3.3.4.3 Uporabniški del

Ta del sestoji iz milijonov uporabnikov GPS-a. Sprejemniki GPS se uporabljajo za navigacijo, določanje položaja, zemljemerstvo in določanje točnega časa. Sprejemniki, ki so lahko nameščeni na letalih, ladjah, vozilih ali v obliki prenosne ročne naprave, preračunajo satelitske signale v podatke o položaju, hitrosti in času. Natančnejše

podatke je mogoče pridobiti s pomočjo dodatnih oddajnikov na Zemlji (to so sprejemniki GPS z radijskimi oddajniki za pošiljanje korekcij), ki imajo točno določen položaj ter oddajajo popravke in relativne položaje oddaljenih sprejemnikov.

3.4 OSTALI GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI

3.4.1 GLONASS

Ogromen uspeh ameriškega sistema navigacijskih satelitov NAVSTAR ni ostal neopažen za železno zaveso. Že v začetku šestdesetih let je bila Sovjetska zveza na področju satelitske navigacije enakovredna ameriški strani, ki je takrat uporabljala satelitsko navigacijo Transit, saj so tudi sami že utirili svoje nizkoorbitalne navigacijske satelite. Postopno je razvoj pripeljal do nastanka ruskega GNSS-sistema GLONASS (Globalnaya Navigatsionaya Sputnikovaya Sistema) v osemdesetih.

Že od začetka razvoja sistema je bila State Unitary Enterprise of Applied Mechanics (današnji JSC Information Satellite Systems – Reshetnev Company) glavni akter pri razvoju sistema. Odgovorna je za splošni razvoj sistema, satelitov, objektov za pripravo izstrelitve in avtomatiziranega nadzornega sistema. Ključna pri razvoju sta tudi Ruski znanstvenoraziskovalni inštitut za vesoljsko industrijo – Russian Scientific-Research Institute of Space Industry (RNII KP) in Ruski inštitut za radionavigacijo in čas – Russian Institute of Radionavigation and Time (RIRT).

GLONASS predstavlja rahlo drugačno različico GNSS-a, saj zagotavlja globalno, neprekinjeno vidnost vsaj petih izmed skupno 24 satelitov, ki so razporejeni v tri ravnine na višini 19.100 km z odklonom $64,8^\circ$ in periodo 11 ur in 15 minut. Seveda so bile zahteve po natančnosti, hitrem sprejemu signala, eksternih korekcijskih mehanizmih za jonosferske vplive in delni civilni uporabi ključne, da je sistem uporabil enako strukturo signala kot GLONASS – torej signal CA (coarse-acquisition) na eni frekvenci (L_1) in natančni signal (P) na dveh frekvencah (L_1 in L_2). Celo sistem za upravljanje je zelo podoben, saj ima GLONASS tudi svoj zemeljski nadzorni del (GCS – Ground-based Control System) z eno glavno postajo (SCC – System Control Center) v Krasnoznamensku (moskovski teritorij) in petimi nadzornimi postajami (TT&C – Telemetry, Tracking & Control) po vsej Rusiji.

Sistema sta si tako podobna, da so strokovnjaki izdelali že vrsto naprav, ki lahko izkoriščajo signal obeh sistemov hkrati, kar omogoča izredno visoko dostopnost satelitov, saj se njihovo število tako podvoji. A vendar je treba poudariti določene pomembne, čeprav majhne razlike. Časovni standardi se v obeh sistemih razlikujejo za več mikrosekund, saj NAVSTAR GPS uporablja UTC čas,³⁰ ki ga meri ameriški mornariški observatorij – UTC [USNO], medtem ko GLONASS uporablja svoj UTC [SU] čas. Na srečo je bila zadnja leta časovna razlika med dvema sistemoma stabilna, kar je omogočalo dokaj natančno preračunavanje. Prav tako se razlikujeta koordinatna sistema, po katerih oba sistema določata položaj objekta. Ameriški sistem uporablja koordinatni sistem WGS-84, ruski GPS pa SGS-85. Oba sta geocentrična in geostacionarna koordinatna sistema, ki se razlikujeta za slabih 20 metrov, in med njima je dokaj enostavno preračunavanje koordinat. Poleg tega pa se sistema razlikujeta še v tem, kako sateliti oddajajo lastni položaj in, kar je verjetno najbolj osnovna razlika, v tem, kako sistema dovolita satelitom, da oddajajo podobna sporočila vsakemu posameznemu uporabniku. Prav zaradi zadnje razlike so bile do nedavnega redke naprave, ki so lahko spremljale signal obeh sistemov, saj je za sprejemanje 24 različnih kanalov sistema GLONASS (če so orbite v polni sestavi) potrebna različna strojna oprema.

Slika 3.5: Primer satelita GLONASS-K



Vir: Sistemilaser (2012).

³⁰ Zelo natančna in stabilna, mednarodna uniformna atomska časovna lestvica – osnova za čas, kot ga merimo danes.

Težave s sistemom GLONASS so imeli Rusi že od samega začetka. Če zanemarimo dejstvo, da je edino izstrelišče za satelite v Kazahstanu, kar seveda s strateškega vidika ni najbolj idealna rešitev (navkljub dogovoru med državama skuša Rusija preseliti izstrelišče znotraj lastnega ozemlja), sta mogoče največji pomanjkljivosti sistema v nezanesljivosti delovanja in pomanjkanju financiranja – slednje se je po ponovnem oživetju ruskega gospodarstva spremenilo. Še posebej z letom 2008 se je proračun za vesoljski program neverjetno povečal. S 159 milijonov € v letu 2006 in 332 milijonov € v letu 2007 na kar 2,1 milijarde € v letu 2008. Predsednik ruske vesoljske agencije Anatoly Perminov je dejal, da bodo število satelitov v ozvezdju GLONASS povečali do leta 2011 s trenutnih 16 na 30 (Putin Pumps it Up 2008, 14).

3.4.2 GALILEO

Čeprav se zdi na prvi pogled uvedba novega sistema za globalno pozicioniranje v Evropi dokaj kontroverzna, je bil sistem GALILEO zasnovan zaradi tehničnih in ekonomskih razlogov pa tudi zaradi same neodvisnosti sistema, ki lahko na dolgi rok vpliva na znanstvenike, civilne uporabnike in vse zainteresirane za visoko natančno globalno pozicioniranje. Sistem je za razliko od »starejših bratov« popolnoma v civilni lasti in s tega vidika mogoče za vojaški segment manj zanimiv. Glede na to, da bo sistem prosto dostopen in bodo bodoči uporabniki lahko tudi vojaki sami, ga je treba vsaj na kratko predstaviti. Poleg tega pa je evropski parlament najavil, da bodo sestavni del Galileovega mandata tudi vojaške operacije za ohranjanje miru (Hasik in Rip 2003).

V sistemu GALILEO bo 30 satelitov, skupaj s sistemoma NAVSTAR in GLONASS pa bo omrežje štelo skupaj skoraj 80 satelitov. Čeprav je GALILEO popolnoma v civilnih rokah, bo vseeno odpravil neizpolnjene vojaške potrebe na štirih področjih: prvič, ker je naklonski kot satelitov glede na ekvator večji, imajo ti sateliti boljše pokritost skrajno severnih in južnih predelov Zemlje; drugič, z večanjem števila satelitov in s tem integritete sistema se bo logistika lažje avtomatizirala; tretjič, povečala se bo natančnost vseh sistemov za satelitsko navigacijo in četrtič, povečala se bo jakost signala v urbanih predelih. Slednja prednost se zdi še najbolj pomembna, še posebej v luči kampanj in operacij, ki se jih bodo enote NATA po vsej verjetnosti udeleževale v prihodnosti.

Sistem je predlagalo 15 članic Evropske unije, zraven pa sodeluje še ESA (European Space Agency) kot konzorcij številnih podjetij, ki se na evropskih tleh ukvarjajo z geoznanostjo. Trideset satelitov (27 aktivnih in trije rezervni) v srednji orbiti (Medium Earth Orbit) bo krožilo 23.222 km nad Zemljo. Deset satelitov bo razvrščenih v tri orbitalne ravnine, ki bodo glede na ekvator nagnjene za 56° , za obkrožitev Zemlje pa bodo potrebovali okrog 14 ur. V vsaki ravnini bo en satelit za rezervo, če bi morda kakšen od ostalih prenehal delovati. S takšno strukturo je zelo velika verjetnost (več kot 90 %), da bo katerikoli uporabnik kjerkoli na Zemlji vedno sprejemal signal najmanj štirih satelitov. Večidel ozemlja pa bo vedno pokrit s signalom od šestih do osmih satelitov, kar bo v idealnih pogojih omogočalo natančnost določanja položaja do nekaj centimetrov.

Trenutno so v orbitah štirje sateliti v začetni fazi testiranja (IOV – In-Orbit Validation). Do leta 2015 je načrtovana izstrelitev še dodatnih 14 satelitov, s čimer bi dosegli začetno obratovanje sistema (IOC – Initial Operational Capability) do končnega sistema s 30 sateliti, načrtovanega za leto 2019.

3.4.3 BEIDOU IN OSTALI SISTEMI

Beidou je kitajsko ime za ozvezdje veliki voz, hkrati pa so to ime uporabili za svoj sistem satelitske navigacije. Podoben je programu GALILEO in je razdeljen na dve fazi. Prvo fazo so zaključili maja 2003, ko so poslali v orbito tretji geostacionarni satelit (eden je za rezervo) in s tem so zagotovili pokritost Kitajske in širše regije – pokrito je območje med 70° ~ 140° vzhodne zemljepisne dolžine in 5° ~ 55° severne zemljepisne širine. Dva satelita sta umeščena na tirnico pri 80° in 140° vzhodne zemljepisne dolžine. Tretji (rezervni) pa je nameščen na $110,5^\circ$ vzhodne zemljepisne dolžine. Prav zaradi tega sistem ni še globalen, ampak je t. i. SBAS – Satellite Based Augmentation System, torej dopolnilni sistem obstoječim navigacijskim sistemom (SinoDefence 2008).

V drugi fazi, ki se je začela z izstrelitvijo tretjega geostacionarnega satelita v zemljino orbito februarja lani, pa naj bi Beidou (oz. v angleščini Compass Navigation Satellite

System – CNSS)³¹ razširili v zares globalen sistem za določanje položaja. Aprila lani so izstrelili tudi prvi satelit, ki kroži po srednji zemljini orbiti na višini 21.500 km. Popolno konstelacijo satelitov naj bi dosegli v letu 2010, zajemala pa naj bi pet geostacionarnih satelitov in 30 satelitov v srednji zemljini orbiti (Samama 2008, 121–123).

Sistem je od decembra 2011 v preizkusni fazi z desetimi sateliti v orbitah in za konec leta 2012 je načrtovano pokritje s signalom azijsko-pacifiške regije in leta 2020 globalno pokrivanje. Beidou bo zagotavljal dve vrsti storitev: brezplačno storitev za civilne uporabnike, ki bo dosegala natančnost določanja položaja 10 metrov, hitrosti do 0,2 m/s in časa do 50 nanosekund natančno, ter licenčno storitev z višjo natančnostjo za vojaško rabo in pooblaščen uporabnike. Za razliko od trenutnega sistema, ki zahteva dvosmerno komunikacijo med uporabnikom in osrednjo nadzorno postajo prek satelita (kar je s stališča vojaške prikritosti popolnoma nesprejemljivo), pa bo končni sistem deloval popolnoma pasivno, podobno kot že obstoječa sistema NAVSTAR GPS in GLONASS.

Poleg omenjenih obstajajo še izključno regionalni navigacijski satelitski sistemi, kot so francoski DORIS (Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite), indijski IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) in japonski QZSS (Quasi-Zenith Satellite System).

³¹ *Kratice za kitajski satelitski sistem globalne navigacije, znan tudi pod imenom Beidou (Beidou-1 je bilo ime testnemu, razvojnemu regionalnemu sistemu s tremi sateliti).*

4 VOJAŠKA UPORABA NAVSTAR GPS-A

Čeprav se tehnologija GPS zadnje čase čedalje bolj uveljavlja v civilnem sektorju, segajo njene korenine, kot korenine marsikatere druge sodobne tehnologije, v vojaško sfero. Navkljub začetnim težavam pa je tehnologija predvsem med operacijo Puščavska nevihta postala dovolj zrela za resnejšo uporabo. Po poročilih iz omenjene operacije je Komite za oborožene službe ZDA (Armed Services Committee) leta 1993 dal jasno vedeti, da bo morala vsaka oborožitvena platforma iz prvih bojnih črt v prihodnosti imeti povezavo do GPS-a – kar so izpeljali do leta 2000.

Leta 1995 je komite združenega vrhovnega štaba ZDA odobril demonstracijski projekt, ki naj bi avtomatsko povezal enote v prvi bojni črti in enote za ognjeno podporo, tako da bi si lahko hitro izmenjevale strelne koordinate in druge podatke (Monthorpe 1996, 305). Na podlagi tega projekta so razvili veliko sodobne opreme, kot je prenosni laserski razdaljemer z avtomatsko napravo GPS za sporočanje koordinat, znan pod imenom TLDHS (Target Location, Designation, and Hand-off System).³² Ameriški komandosi so za misije na Kosovu tudi že uporabljali AN/PEQ-1 SOFLAM (Special Operations Forces LAsEr Marker) – laserski označevalec ciljev s sprejemnikom GPS. V razvoju so tudi topovski izstrelki, vodljivi s pomočjo GPS-a, na Kosovu in v Bosni smo že bili priča preletom brezpilotnih letal, vodenih s pomočjo signala GPS (Seigel 1999, 5). Več proizvajalcev že proizvaja 127- in 155-milimetrsko strelivo za artilerijo, ki uporablja signal GPS za navigacijo – čeprav je takšno strelivo šele v zgodnji proizvodni fazi, je ameriška vojska konec junija 2006 že sklenila posel v vrednosti 42,7 milijona dolarjev s podjetjem Raytheon za dobavo 335- in 155-milimetrskih vodljivih izstrelkov GPS tipa Excalibur (Raytheon 2006).

Vsa oprema za izvajanje operacij prihodnosti je torej bodisi v izdelavi ali pa je že izdelana. Z razvojem GPS-a in vse pripadajoče tehnologije se bo lažje izogniti incidentom, kot se je zgodil leta 1994 v coni DMZ (demilitarizirana cona) med Severno in Južno Korejo, ko je patroljni helikopter nevede (gorato ozemlje) zašel na območje Severne Koreje in bil sestreljen. Za izpustitev zajetega, preživelega vojaka (kopilot je

³² Prenosni laserski razdaljemer z avtomatsko napravo GPS za sporočanje koordinat za obstreljevanje.

umrl na kraju nesreče) je moral posredovati posebni odposlanec ZDA, kar je še bolj zaostriło takrat že tako napete odnose s Severno Korejo (Pollack 1994).

Poleg tega se je skoraj »naravno« pokazala potreba po posodobitvi oborožitve, ki izhaja še iz časov pred drugo svetovno vojno, ko je razvoj vodljivih bomb privedel do prvih uporabnih primerkov v Nemčiji – to sta bili bombi Henschel (Hs) 293 in SD1400 Fritz X. Taktični prednosti, ki sta botrovali k nujnosti takšne posodobitve, sta bili predvsem dve:

- vodene bombe se lahko spuščajo z večje višine, ker so natančnejše in se tako izognemo protiletalski obrambi ter
- lahko so zadele manjše cilje, ki pa so bili pomembni s taktičnega in/ali ekonomskega vidika (mostovi itd.), ne da bi bilo treba odvreči mnogo večje število »neumnih« bomb, da bi katera sploh zadela cilj.

Tabela 4.1: Natančnost bombardiranja od druge svetovne vojne do zalivske vojne³³

<i>konflikt</i>	<i>bombe</i>	<i>letala</i>	<i>CEP (m)</i> ³⁴
II. svetovna vojna	9070	3024	1005
korejska vojna	1100	550	305
Vietnam	176	44	122
jesen 1990	30	8	61
Perzijski zaliv – 1991 (vodene bombe)	1–2	1	1–2

Vir: Hallion (1992, 283).

Hladnovojno obdobje je nadalje prispevalo k razvoju natančno vodenih izstrelkov, in čeprav je proti koncu petdesetih razvoj rahlo zamrl, predvsem zaradi obljub raketnih sistemov za protizračno obrambo SAM, ki naj bi popolnoma izničili učinek bombardiranja iz zraka, se je obljuba že v vietnamski vojni izkazala za popolnoma

³³ V tabeli je prikazano število nevedenih bomb (razen pri vojni v Perzijskem zalivu, kjer so navedene vodene bombe), potrebnih za zadetek cilja. To število je funkcija povprečne razdalje od tarče, deljeno z napako CEP, velikostjo tarče in učinkovitostjo orožja. Tarčo predstavlja objekt velikosti 18 x 30 m, orožje pa 907 kg težka nevodena bomba, odvržena s srednje višine z ocenjeno 90-odstotno verjetnostjo zadetka.

³⁴ Circular Error Probable – predstavlja kratico za verjetni krožni položajni odklon, ki se v balistiki uporablja za predstavitev natančnosti zadevanja cilja določenega orožja in v praksi predstavlja polmer kroga, znotraj katerega se bo znašlo 50 % izstrelkov. CEP predstavlja najbolj pogosto merilo za določanje natančnosti zadevanja izstrelkov (Rip in Hasik 2002, 502).

napačno in razvoj je stekel dalje. ZDA so se zavedale, da so izgubljale vse preveč letal, ker so ta morala leteti nizko, da so z zadovoljivo natančnostjo lahko odvrгла tovor, in učinek bombardiranja z nevodnimi bombami tudi ni bil primerljiv z natančnostjo zadevanja vodenih bomb. Skratka, velika prednost, ki so jo prinašale vodene bombe, je bila poleg večje učinkovitosti tudi posledično zmanjševanje stroškov, saj je bilo potrebnih mnogo manj preletov letal in manjše število bomb za doseg enakega rezultata. Poleg tega so lahko bombe odvrgli z večjih višin, saj so delno jadrale med letom, tako da so letala postala varna pred nasprotnikovo protizračno obrambo.

Ravno razvoju in potrebam letalskega bombništva se lahko GPS med drugim zahvali za svoj hitrejši razvoj, saj so navkljub napredku v tehnologiji še vedno ostale vidne ključne pomanjkljivosti vseh tedanjih vodenih izstrelkov: prvič, zahtevali so dodatno (drago in težko) opremo in ponavadi dodatna človeška sredstva (označevalce ciljev); drugič, njihovo delovanje v slabih atmosferskih pogojih ni bilo zanesljivo oz. je bilo nemogoče.

GPS vse te omejitve odpravlja – torej denarne, omejitve fleksibilnosti, atmosferske in v določenih primerih tudi omejitve natančnosti zadevanja ciljev. Hkrati pa ponuja še celo vrsto drugih možnosti svoje uporabe, kar so vojaški razvijalci s pridom izkoristili.

V nadaljevanju bodo predstavljeni najbolj znani in uporabljeni primeri posameznih tipov orožij, ki s pridom izkoriščajo tehnologijo navigacije GNSS oz. zaenkrat izključno satelitsko navigacijo NAVSTAR GPS.

4.1 NAVIGACIJA

V vojaških operacijah v preteklosti se je večkrat izkazalo, da so napake pri poznavanju položaja nasprotnikovih enot in smeri njihovega gibanja pripeljale do pogubnega rezultata. Prav zato spada navigacija med pomembnejše elemente kakršnegakoli bojevanja, še zlasti pa je pomembna v puščavskih operacijah, kakor se je recimo izkazalo v operaciji Puščavska nevihta. Tam so vojaki poročali, da je navigacija v brezizraznem puščavskem okolju, kjer se premikajo sipine, piha močan peščen veter in ni fiksnih orientirnih točk, izredno otežkočena. Prav zato so nekateri imeli naprave GPS za glavne zmagovalce vojne v Iraku in Kuvajtu.

4.1.1 KOPENSKA NAVIGACIJA

Navigacija kopenskih vozil in njihovo sledenje predstavlja enega izmed najbolj razširjenih načinov uporabe GPS-a tako v civilnem sektorju, kot tudi v vojski. Za zgled o pomembnosti GPS-a v civilnem sektorju si lahko pogledamo načrt ameriške agencije, ki bdi nad »sistemom cest s pametnimi vozili« – IVHS (Intelligent vehicle highway systems). Gre se za sedaj že globalni trend izboljševanja učinkovitosti, varnosti in okoljevarstvenih plati cestnega prometa z uvajanjem informacijskih, komunikacijskih, položajnih in nadzornih tehnologij.

V vojaških sferah pa so kaj hitro ugotovili, da samo poročanje o položaju vozila ni dovolj za zadovoljivo poveljevanje – potrebna je bila tudi direktna komunikacija z enotami, ki je bila doslej rešena z ločenimi sistemi. Zavaljo nižanja stroškov in vse večje integracije tehnologij so hitro po zalivski vojni že začeli proizvajati sisteme SINCGARS (Single Channel Ground and Airborne Radio System) – taktične radiosisteme, ki so že vključevali GPS. Ta je avtomatsko izmenjeval podatke, v šifriranem načinu, o položaju in smeri gibanja s poveljniškim centrom, in tako ni bilo potrebe po poročanju položaja prek radijskih zvez, ki bi jim lahko sovražnik prisluškoval (Munro 1991, 22).

Seveda so poleg GPS-a v času zalivske vojne uporabljali tudi druge radionavigacijske sisteme, kot so LORAN-C, PLRS in Transit, ki so bili kljub svoji zastarelosti še vedno v redni uporabi, predvsem zaradi svoje cene in takrat večje pokritosti s signalom. Vendar pa so že takrat vse nadgradili z GPS-om, predvsem zaradi zagotavljanja večje natančnosti in mobilnosti. Ti sistemi so še danes v uporabi, in to tudi zahvaljujoč integraciji z GPS-om. V času zalivske vojne je uporaba GPS-a med kopenskimi silami vsekakor najbolj pripomogla pri manevriranju z enotami v obširnih puščavskih planjavah in njihovem oskrbovanju. Zato si pogledajmo nekaj primerov uporabe.

4.1.1.1 Primeri uporabe GPS-a pri kopenskih silah v zalivski vojni

a) *Oklepna vozila in mehanizirane enote*

Številni ameriški tanki Abrams in britanski Challengerji, kakor tudi ostale motorizirane enote, so imeli vsaj po eno enoto SLGR³⁵ – majhne, lahke, ročne enote GPS z anteno na strehi. Tako so lahko svoj položaj natančno določili, ne da bi bilo treba stopiti iz vozila. Enote GPS, ki jih je uporabljala 24. mehanizirana pehotna divizija, so se izkazale za nepogrešljive, predvsem v začetnih 48 urah kopenske ofenzive, ko sta megla in dež zmanjšala vidljivost na 30 m, kasneje ob reki Evfrat pa je vidljivost padla na 5 m. Funkcionalnost infrardečih senzorjev in sistemov za nočno gledanje je v takšnih vremenskih razmerah dokaj okrnjena.

b) *FACs – Forward Air Controllers*

FACs so enote, neke vrste izvidnica, ki iz ospredja fronte (na zemlji ali v zraku) usmerja napade sil za zračno podporo zemeljskih enot. Vseh 2200 enot ameriške vojske, ki je delovalo v prvih bojnih linijah, je položaj določalo z uporabo sprejemnikov GPS. Poleg tega jim je GPS omogočil nastavljanje oddajnikov, ki so bombnikom sporočali, v kateri smeri se nahaja njihov cilj (U.S. Forces praise performance of GPS but suggest improvements 1991, 75).

c) *Inženirske enote*

Inženirske enote so bile precej zaposlene med celotno zalivsko vojno, saj so morale izdelati in zagotoviti karte bojišča ter zaledja. Kar se je izkazalo kot izjemno zahtevna naloga, saj so bili obstoječi zemljevidi Arabsko-ameriške naftne družbe Aramco precej pomanjkljivi in so imeli odstopanja tudi do 200 m. Poleg tega je bila edina absolutno določena izhodiščna točka v Dhahranu in iz te so s pomočjo komercialnih enot GPS izmerili več kot 800 km znanih točk. Tako so lahko označili:

- izvire tekoče vode,
- pokvarjene in uničene tanke,
- minska polja in
- pozicionirali raketne baterije Patriot (Fulghum 1991, 72).

³⁵ Od 1- do 5-kanalni sprejemnik GPS, narejen za potrebe operacij Puščavski ščit/Puščavska nevihta; kasneje ga je nadomestil PLGR.

d) Artilerija

O pomenu artilerije s stališča taktike in tipov izstrelkov, ki so v sodobnih artilerijskih enotah na voljo, si lahko pogledate v poglavju 4.1.3. Z vidika navigacije takšnih enot pa se je GPS izkazal kot dovolj natančen, predvsem pa veliko hitrejši kot starejši sistem PADS (Position Azimuth Determining System)³⁶ oz. ročno določen položaj. Tako so lahko havbice in ostale artilerijske baterije potovale po puščavi ter se kadarkoli na zahtevo ustavile in so bile v nekaj minutah pripravljene na izstrelitev nabojev ter nato na hiter ponovni premik. Enote so lahko zahtevale ognjeno podporo tarč, oddaljenih znotraj 1000 m, brez strahu, da bi izstrelki zadeli njihove enote (Scicchitano 1991, 14–16).

e) Logistika

Po pričevanjih polkovnika B. Tackaberryja, poveljnika zračne brigade 24. pehotne divizije, so za zmago v zalivski vojni zasluženi logistiki – kar ni daleč od resnice, saj se vojskovanje v puščavskem okolju še posebej močno zanaša na učinkovit sistem logistike.

Ladjevje ameriške mornarice in ostale ladje, ki so prevažale vojaško opremo, so bile opremljene s sistemom TRACC³ (Tracking Command Control and Communications System), v bistvu je to prenosni računalnik s solarnimi paneli, ki ima vgrajen sprejemnik GPS, s pomočjo katerega so lahko sledili vsaki pošiljki in ob vsakem času vedeli, kje se določen kos vojaške opreme nahaja (GPS Used to Monitor Army War Shipments 1991).

GPS se je uporabljal tudi za oskrbovanje vojakov v prvih bojnih linijah s hrano, z vodo, s strelivom in z gorivom. Kot primer: 24. mehanizirana pehotna divizija je potrebovala 1.500.000 l goriva, 800.000 l vode in 2100 ton streliva dnevno. Poleg tega so enote napredovale tako hitro, da so imeli tovornjaki, ki so dovažali zaloge, težave. Ker so turbinsko polnjeni tanki M1A1 Abrams porabili 16 l goriva za vsak prevožen kilometer, so se v povprečju ustavili vsakih osem ur. Zato je bila logistika v ozadju še toliko bolj pomembna in, zahvaljujoč GPS-u, tudi znatno olajšana (Scales 1993, 255).

³⁶ PADS je samostojni inercialni sistem za geodetsko izmero, ki se lahko uporablja za hitro in natančno določanje položaja, azimuta in nadmorske višine bodisi na tleh ali v zraku.

f) Elektronsko motenje

Ameriška vojska je uporabljala kopico kopenskih sistemov za elektronsko motenje in izvidovanje, še posebej kot del programa za onemogočanje izstrelišč raket SCUD. Tako so na primer na vojaška vozila HUMMV (poznana pod vzdevkom Peščeni rak) namestili sistem za motenje signala in prisluškovanje visokofrekvenčnim signalom (HF), prek katerih so iraški vojaki sporočali podatke mobilnim izstreliščem SCUD. S pomočjo sprejemnikov GPS so z natančnostjo lahko določili svoj položaj in posledično tudi tistega od nasprotnikovih oddajnikov (Rip in Hasik 2002, 179).

g) Enote za specialno udejstvovanje

Zaradi same geografije Iraka in relativno statične namestitve iraške vojske je bilo to prizorišče idealno za opravljanje prikritih misij. Ameriški in britanski komandosi so opravljali naloge globoko za sovražnikovo črto. Njihove naloge je koordiniral SOCENT (Special Operations Forces Central Command). S pomočjo GPS-a so lahko varno in natančno opravljali svoje naloge – od pridobivanja protiobveščevalnih podatkov do označevanja nahajališč pitne vode. Še posebej pa se je GPS izkazal na naslednjih področjih:

- zračnih desantih,
- določitvi/označevanju ciljev napada,
- uničenju komunikacij,
- kopenskem izvidovanju,
- izvidovanju za izstrelišči SCUD,
- hitrih umikih enot,
- reševalnih misijah ter
- podvodnem izvidovanju in infiltraciji.

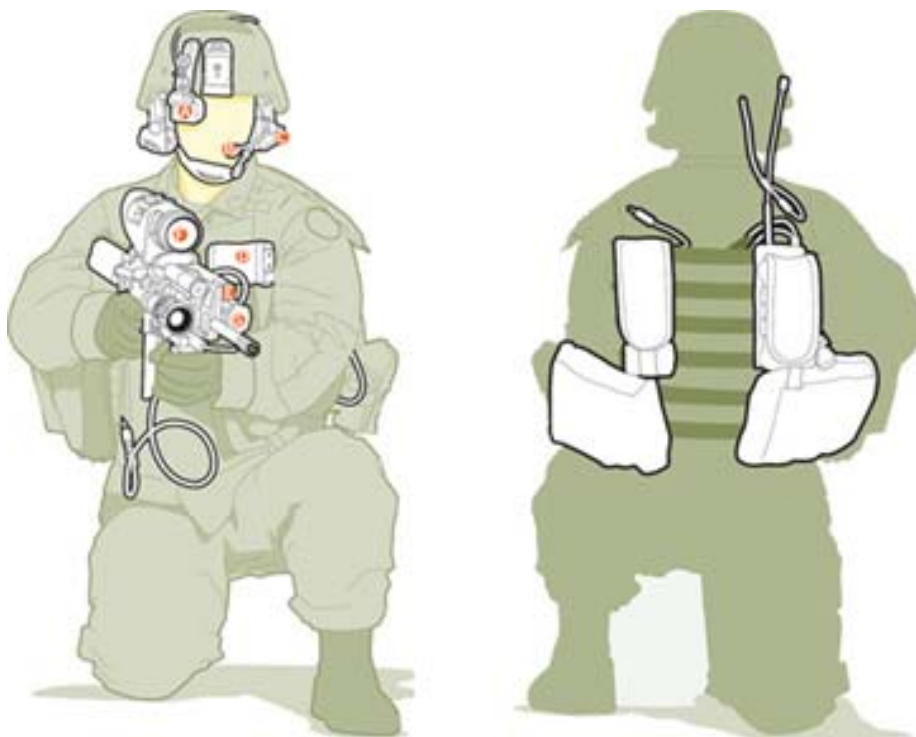
Najlažje je prikazati prednosti uporabe GPS-a v času zalivske vojne, če si pogledamo težave iraških vojakov. Koalicijske sile so ugotovile, da so imele iraške enote precejšnje težave z navigacijo in da so se zaradi motenja radijskih zvez določene iraške enote popolnoma izgubile v puščavi. Na določenih navigacijskih točkah, ki so bile določene za grupiranje sil in oskrbo, je bila zaradi natančnosti GPS-a že skoraj pretirana gneča, saj so se enote skušale zbrati na točno določenih koordinatah. Manjše težave so imeli tudi s pretiranimi zalogami streliva, saj so z novo pridobljeno natančnostjo porabili manj izstrelkov (Rip in Hasik 2002, 180–185).

4.1.1.2 Land Warrior

Program Land Warrior (Kopenski bojevnik) je v razvoju že od sredine devetdesetih let prejšnjega stoletja, takrat še pod drugim imenom, predstavlja pa poskus integracije majhnega orožja z napredno tehnologijo, sistema C³ na pehotni ravni in novodobne vojaške uniforme. Cilj programa je povečanje taktične predstave vojaka na modernem bojišču, kar ima za posledico zmanjšanje smrtnosti in povečanje možnosti preživetja. Eden ključnih elementov sistema pa je vsekakor sprejemnik GPS in pripadajoča oprema. Vojaki iz 4. pehotnega bataljona, ki so leta 2008 v Iraku testirali sistem Land Warrior, so najbolj pohvalili prav GPS ter zmožnost prikazovanja in posodabljanja položaja na digitalnih kartah terena, ki so jih lahko pregledovali prek vizirja na čeladi.

Čeprav je ameriška vojska za program v desetletju in več zapravila okrog 500 milijonov dolarjev in je program že prešel v fazo operativnega testiranja, pa so v letu 2007 prekinili financiranje, saj program ni izpolnil vseh pričakovanj. V proračunskem letu 2008 so sicer še namenili 102 milijona dolarjev za končno testiranje sistema v operativni rabi v Iraku, Afganistanu in na testnem poligonu v Teksasu (Cox 2008). Kot največja težava so se izkazale prekratka življenjska doba baterije, prevelika teža in zamik pri prikazovanju položaja na karti v vizirju. Tudi zaradi tega so program preusmerili, vsa tehnologija pa seveda še zdaleč ni odstavljena, saj jo prav sedaj še dokončno testirajo na bojiščih v Afganistanu (Strategy Page 2009) in veliko njene posodobljene dediščine prehaja v druge vojaške programe za kopenske bojevnike, kot sta Ground Soldier Ensemble in Future Force Warrior, ki ne temeljijo na koreniti in takojšnji spremembi celotnega sistema oborožitve sodobnega bojevnika, ampak predvidevajo spiralno, postopno uvajanje vseh novosti. Tri podjetja (General Dynamics C4 Systems, Raytheon in Rockwell Collins) so letos že podpisala pogodbe v vrednosti okrog 12 milijonov dolarjev za izdelavo desetih prototipov enot GSE (Wasserbly 2009).

Slika 4.1: Zdaj že zamrli program *Land Warrior*



Vir: Coburn (2007).

4.1.1.3 Soldier 911

Soldier 911 oz. Vojak 911 (pomenski prevod v slovenščino bi bil Vojak 112, 112 kot številka za klic v sili) je sistem za sledenje in opozarjanje (oznaka PRC-112/GPS), ki temelji na vojaškem radiu UFH z vgrajeno enoto GPS. Sistem je bil razvit posebej za misije o nadzorovanju mej, saj je njegova primarna naloga opozarjanje uporabnika o njegovi oddaljenosti od najbližje meje in stalno prikazovanje položaja uporabnika ter seveda omogočanje, da uporabnik s pritiskom na en gumb pošlje klic v sili, če bi potreboval pomoč.

Zemljevidi nadzorovanih območij se prikazujejo na prenosnih računalnikih v bazni postaji, vsak lahko sledi 12 takšnim napravam. Identifikacijske številke in oznake o vsaki posamezni enoti se prikazujejo na ekranu, s čimer omogočajo lažje sledenje in identificiranje posameznih enot. Ko se posamezna enota približa nadzorovani meji, do vnaprej določene razdalje, začne naprava oddajati zvočni signal. Če se preveč približa meji, pa izpiše opozorilo na ekranu prenosne enote in odda še glasnejši signal (Rip in Hasik 2002, 196–197).

4.1.1.4 Brezpilotna kopenska vozila – UGV

Unmanned Ground Vehicles (UGV)³⁷ oz. brezpilotna kopenska vozila imajo številne prednosti pred živo silo na več različnih področjih, od straže, izvidovanja nevarnih področij, spremljanja konvojev, raziskovanja votlin, tunelov in notranjosti stavb ter še mnoge druge. Najbolj očitna prednost je v tem, da vojak pri nevarnih operacijah ni izpostavljen.

Navkljub vidnemu napredku v elektroniki, sistemih za gledanje, umetni inteligenci in sistemih za nadzor vozil pa popolnoma avtonomnega brezpilotnega kopenskega vozila še ni na spregled. Večina sodobnih BKV-jev je namreč televodenih – vodenih prek kamer na vozilu samem, največja težava je namreč zagotoviti ustrezen sistem senzorjev, ki bi vozilu omogočal izogibanje oviram in prepoznavanje okolice. Razvoj v tej smeri je še najbolj napredoval v okviru agencije DARPA ameriškega obrambnega ministrstva s programom Grand challenge/Urban challenge, s katerim so spodbujali razvoj popolnoma avtonomnega bojnega vozila – UGCV (Unamned Ground Combat Vehicle).

Kot proizvod programa je neposredno nastal Crusher, zelo dober približek popolnoma avtonomnemu vozilu, saj so lahko točke za točkovno navigacijo pri njem tudi po kilometer narazen – vmes pa s pomočjo GPS-a, številnih senzorjev, kamer in laserskega radarja 3D avtonomno najde pravo pot.

Če je Crusher služil kot razvojna platforma tehnologij, ki jih bo ameriška vojska uporabila večinoma na razvoju novih tankov, pa je drugo vozilo UGVC, imenovano MULE (Multifunction Utility/Logistics Equipment Vehicle), narejeno izključno za podporo pehoti na sodobnem bojišču, ki ga je predvideval program modernizacije vojske FCS (Future Combat Systems). Izdelujejo ga v treh različicah, za transport materiala, za protiminsko delovanje in v različici z lažjo oborožitvijo. Dvainpoltonsko vozilo ima za vse tri različice enako podvozje, s 6 x 6 neodvisnim vzmetenjem in šestimi pestnimi motorji, s čimer je izjemno okreten. Lahko premaga več kot meter visoke oz. široke stopnice ali vrzeli, prečka plitvine do 0,5 metra in premaga ovire do 0,5 metra visoko (Lockheed Martin 2008).

³⁷ *Kopensko bojno vozilo, ki je vodeno prek radijskih valov oz. deluje popolnoma avtonomno.*

Dober primer avtonomne navigacije v navezi z GPS-om ima tudi izraelsko-ameriška naveza z vozilom Guardian UGV. Sicer gre za manjše, oklepljeno in lažje oboroženo vozilo UGV, namenjeno izvidovanju in prestrežanju ciljev. V Izraelu že uspešno deluje na državnih mejah v okviru mejnih patrolj (Rutherford 2008).

4.1.2 POMORSKE OPERACIJE

Prednost GPS-a je tudi v tem, da je globalen in kot tak se lahko uporablja na kopnem, na morju in v zraku. Med zalivsko vojno so številne sprejemnike GPS namestili tudi na ladjevje koalicijskih sil, še posebej na ladje ameriške mornarice. Mornariške sile so odkrile položaje številnih iraških divizij vzdolž Perzijskega zaliva, uveljavljale so morsko blokado ter sodelovale pri bombardiranju s križarskimi raketami in topovi. Uporaba GPS-a je bila poleg same navigacije izredno izrazita pri zračnih pomorskih patroljah, odkrivanju minskih polj in izstreljevanju križarskih raket (več o slednjih v poglavju 4.2.2).

4.1.2.1 Zračne pomorske patrolje

Takoj po začetku iraške invazije v Kuvajt so ameriška mornariška letala P-3C Orion, ki se uporabljajo za morski nadzor in potapljanje ladij, začela s patroljnimi leti z otoka Al Masirah, ki leži JV od obale Omana. Orioni so uporabljali GPS za označevanje ladjevja, ki bi kršilo obstoječo morsko blokado Iraka. GPS so uporabljali tudi v povezavi s sintetičnim režnim radarjem, nameščenim na nekaterih Orionih, da bi zagotovili natančne podatke o ladjevju (Burgess 1991, 52–59).

4.1.2.2 Odkrivanje minskih polj

GPS so obširno uporabljali za označevanje minskih polj na severnih predelih Perzijskega zaliva. Z začetkom novembra 1990, tri mesece po začetku invazije Kuvajta, so iraške enote nastavile okrog 1100 min, večinoma v šestih večjih minskih poljih. Področje je bilo idealno za polaganje min, saj so plovni kanali dokaj ozki in globina redko presega 30 m. Ker so iraške enote uničile navigacijski sistem Hyperfix, so se plovila za odstranjevanje min zanašala izključno na podatke GPS-a in se tako približala do nekaj metrov natančno posameznim minam. V številnih operacijah so celo uporabili

diferencialni GPS, kakor so ga tudi po podpisanem premirju, ko so začeli s čiščenjem minskih polj (Brown in Foxwell 1991, 735–746).

4.1.2.3 Avtonomna podvodna plovila³⁸ – AUV

Tipične naloge za avtonomna podvodna vozila bi lahko bile izdelava zemljevidov določenega območja ter preverjanje obstoja morebitnih podvodnih min, nadziranje zaščitene območja, kot je recimo marina, in pomoč podmornicam pri odkrivanju drugih podvodnih vozil. V razvoju takšnih plovil vodijo Norvežani in Danci (skupaj z Nemci) s svojimi modeli Hugin in SeaOtter. Oboji se sicer razvijajo tako za civilno, kakor tudi vojaško uporabo, kar je pripomoglo k hitremu razvoju, in predstavljajo zgleden primer tehnologij »dual use«. Plovila uporabljajo sistem vodenja AINS, ki temelji na inercialnem navigacijskem sistemu s Kalmanovim filtrom in dodatnih zunanjih senzorjih za popravek navigacijskih napak – med katere sodi tudi GPS. Hugin 1000 se je tudi že udeležil skupinske vaje NATA v marcu 2004 in je od takrat tudi v aktivni uporabi v norveških oboroženih silah, SeaOtter pa so testirali v Natovem podvodnem raziskovalnem centru v La Spezii v Italiji (Bliksted 2006).

Ameriška stran ima tudi svoje predstavnike, med najbolj razširjenimi so avtonomna podvodna plovila Remus in Bluefin, oboji razviti z znanjem z MIT-a. Čeprav za primarno navigacijo ne uporabljajo GPS-a, saj signal satelitov v vodo ne prodira, pa so opremljeni s sprejemnikom GPS, ki služi za korekcijo navigacijskih podatkov ob vsakem prihodu na površje. Remuse je ameriška mornarica že uporabila leta 2004 za podvodno protiminsko delovanje med invazijo v Iraku (Whitford 2005a, 10–15).

4.1.2.4 Brezpilotna površinska plovila – USV

Čeprav zgodovina brezpilotnih [vodnih] površinskih plovil (znanih tudi pod imenom ASV – Autonomous Surface Vehicle)³⁹ sega nazaj vse do druge svetovne vojne, so se projekti na tem področju začeli hitreje razvijati šele v devetdesetih letih prejšnjega stoletja (Corfield, Young 2006). Delno zaradi tehnološkega razvoja in delno zaradi spremembe paradigme ameriške mornarice z večjim poudarkom na bojevanju ob obali.

³⁸ Podvodno plovilo, brez posadke na krovu, premika se avtonomno po vnaprej definiranih poteh ali s pomočjo daljinskega vodenja.

³⁹ Vodna oz. kopenska površinska plovila, ki delujejo brez posadke na krovu.

Napad na križarko USS Cole v Jemnu leta 2000 in sprememba varnostnih politik po napadih 11. septembra sta ogromno pripomogla k hitremu razvoju brezpilotnih površinskih vozil. To nam da jasno vedeti tudi leta 2007 sprejet načrt ameriške mornarice glede plovil USV (United States Navy 2007), v katerem podrobno opredelijo tipe plovil USV in naloge, ki jih bodo morala izpolnjevati: protiminsko in protipodmorniško delovanje, pomorsko varovanje, površinsko vojskovanje, podpora pri specialnem udejstvovanju, elektronsko bojevanje ter podpora pri prestreznih operacijah.

Eno prvih takšnih plovil je bil Rafaelov Protector. Devetmetrsko plovilo s trdnim dnom je hitro (40 vozlov), visoko vodljivo in uporablja tehnologijo stealth (radarjem nevidno). Nadvodni del je popolnoma neprepusten za vodo in aerodinamičen ter visoko modularen, tako da lahko plovilo hitro prilagodijo spremenjenim zahtevam na terenu. Opremljen je s stabiliziranim oborožitvenim sistemom Mini-Typhoon, elektrooptičnim nadzornim sistemom, ki deluje v vseh vremenskih pogojih, in seveda z navigacijskim sistemom GPS/INS, ki poleg radarja skrbi za varno plovo tudi v najprometnejših zalivih (Space War 2006).

Slika 4.2: Brezpilotno površinsko plovilo Protector



Vir: Sofge (2007).

Seveda pa Protector ni edini, saj obstaja še cela vrsta drugih plovil: Interceptor, Stingray, Silver Marlin, Spartan, Owl, Seastar so nekatera od teh.

4.1.3 ZRAČNE OPERACIJE

4.1.3.1 Unmanned Aerial Vehicles – UAV

UAV-ji⁴⁰ oz. brezpilotna letala (znana tudi pod imenom RPV – Remotely Piloted Vehicle ali samo drone) so postala izredno popularna sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja. Leta 1982 so izraelska vodena letala spodbudila sirijsko zračno obrambo v prezgodnjo radarsko obsevanje, s čimer so izdali pozicijo lastnih radarjev (Armitage 1988, 85–86).

Koalizijske sile so v zalivski vojni uporabile številna brezpilotna letala, primarno Pioneerje in FQM-151A Pointerje, pa tudi do tedaj tajna brezpilota letala BQM-147A Exdrone, ki pa so vsa pokazala določene pomanjkljivosti, predvsem s prekratko avtonomijo leta in pomanjkanjem natančnosti v neizrazitem puščavskem okolju. Te in druge pomanjkljivosti so prisilile proizvajalce brezpilotnih letal, da so vanje začeli vgrajevati sprejemnike GPS in sisteme za nočno gledanje. Posodobljeni Predatorji, ki so se odlično izkazali v vojni v Bosni, so tako dobili stalno mesto pod okriljem ameriških letalskih sil – ustanovili so 11. izvidniško eskadriljo, ki je nastanjena v letalski bazi Nellis v Nevadi, od koder vodijo vsa brezpilotna letala (Fulghum 1995, 20–22).

Ameriška vojska ima trenutno v uporabi dve različici brezpilotnih letal. Za operativne izvidniške naloge na fronti uporabljajo brezpilotna letala za srednje višine (MAE UAV – Medium Altitude Endurance UAV) – posodobljene različice Predatorjev, ki imajo vgrajene sintetične režne radarje, elektrooptične in IR senzorje, satelitsko komunikacijsko povezavo za vodenje in pošiljanje žive slike SATCOM ter seveda GPS/inercijski navigacijski sistem. Za daljše izvidniške naloge pa uporabljajo Tier II+ Global Hawk brezpilotna letala.

⁴⁰ Zračno plovilo, ki ga nadzira navigator ali pilot iz oddaljene lokacije ali pa leti popolnoma avtonomno.

Slika 4.3: Brezpilotno letalo *Global Hawk*



Vir: United states department of defense (2004).

4.2 NATANČNO VODENI IZSTRELKI

Čeprav lahko GPS-vodeni sistemi izpolnijo marsikatero od prejle opisanih nalog, je za to potrebna konkretna strojna oprema. Na srečo je padanje cen elektronskim komponentam naredilo avtonomno navigacijo dostopno zmanjšanim, pohladnovojnim obrambnim proračunom. Lep primer je proračun ameriškega ministrstva za obrambo, ki se je realno gledano od razpada Sovjetske zveze zmanjšal za polovico. V takšnih razmerah preživijo le sistemi, ki ponujajo najboljše razmerje cena : učinek in eden izmed najbolj ekonomičnih načinov uporabe GPS-a so natančno vodeni izstrelki.

Kot je bilo omenjeno v prejšnjem poglavju, so vodeni izstrelki bolj natančni kot nevodeni, ker lahko med letom popravljajo njegovo smer. Lahko so električno napajani ali ne, oddaljenost, s katere jih lahko odvržemo, pa niha od nekaj kilometrov (bombe) do stotine kilometrov (rakete). Večina vodenih izstrelkov je odvrženih z letal, vendar obstajajo tudi primeri, kot je Tomahawk, ki so lahko izstreljeni z ladje oz. s podmornice, ali pa ATACMS, ki so izstreljeni neposredno s kopnega. Lahko so vodeni samo s pomočjo GPS-a, v veliki večini primerov pa imajo še pomožni sistem za vodenje

(infrardeč, elektrooptični, inercialni itd.), ki se vključi v zadnji fazi leta. V tem poglavju bodo zato predstavljeni najbolj pomembni programi GPS-vodenih izstrelkov.

4.2.1 VODENE BOMBE

Avtonomno vodene bombe so v razvoju že od šestdesetih let prejšnjega stoletja. Čeprav sta Boeing in Northrop takrat uspešno predstavila izstrelke, vodene s pomočjo inercialnega sistema, se zaradi cene in relativne nenatančnosti niso preveč uveljavili in tako je razvoj šel v smer lasersko vodenih bomb. Vse do vojne v Perzijskem zalivu, ko se je zanimanje za inercialno vodene bombe znova povečalo – predvsem zaradi prevelikega števila »neumnih« bomb, ki jih je bilo treba odvreči za uničenje cilja. Pa tudi zaradi dejstva, da so bile lasersko vodene bombe enostavno predrage, da bi jih množično uporabljali za uničenje nizkoprioritetnih ciljev.

Takoj po praktičnih izkušnjah v zalivski vojni je ameriško ministrstvo za obrambo izpeljalo vrsto študij, ki so pokazale, kako bi lahko izboljšali natančnost zadevanja ciljev, prepoznavanje ciljev in zmožnost ugotavljanja povzročene škode ter kako bi povečali razdaljo izstrelitve in seveda smrtonosnost svojih vodenih izstrelkov. S takšnim napredkom bi izboljšali učinkovitost ameriške vojske s tem, ko bi zmanjšali:

- število potrebnih misij in porabljenega orožja,
- nastalo postransko škodo ter
- izpostavljenost letalstva zračni obrambi nasprotnika.

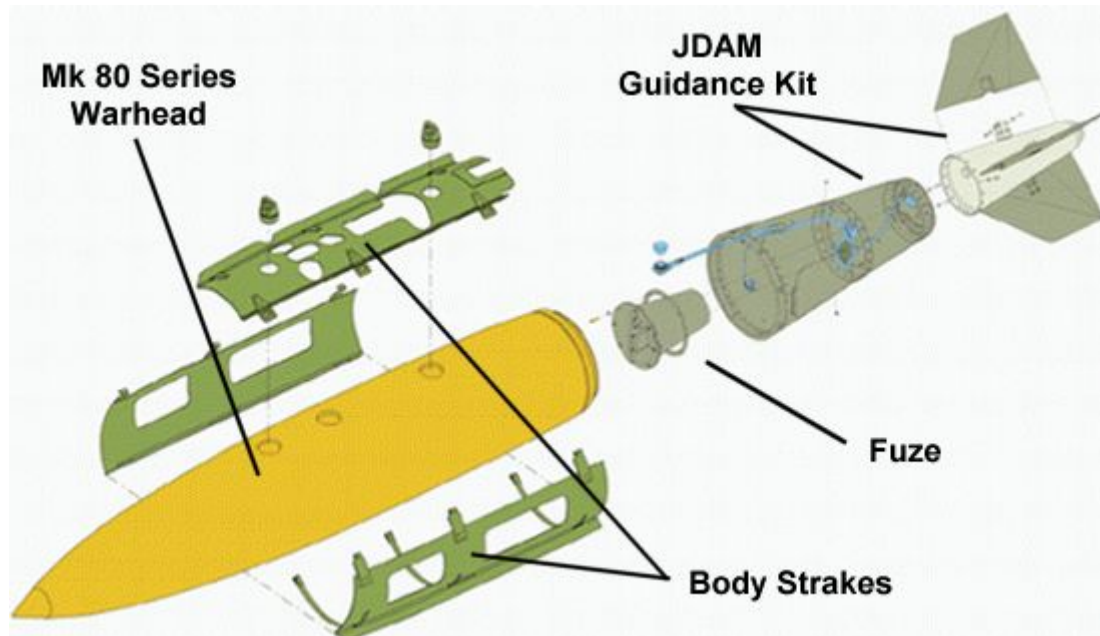
Vse to bi dosegli seveda ob zagotovitvi uničenja cilja. Tako so v devetdesetih letih začeli z razvojem številnih programov za nadgradnjo obstoječih izstrelkov in s proizvodnjo novih. Nekateri izmed ključnih si bomo tudi ogledali.

4.2.1.1 JDAM (Joint Direct Attack Munition)

Osnovna ideja projekta je bila nadgradnja obstoječih nevedenih bomb s tem, da se izstrelkom doda v rep dodatni obroč, ki vsebuje inercialni navigacijski sistem in sistem za vodenje prek GPS-a (glej sliko 4.4 na naslednji strani), s čimer so nadgradili obstoječe Mk.84 BLU-109 908-kilogramske in Mk.83 454-kilogramske prostopadajoče

bombe – prva je pridobila ime GBU-31, druga pa GBU-32. Kasneje so posodobili še dve manjši različici Mk.80 (GBU-29) in Mk.81 (GBU-30).

Slika 4.4: Primer zgradbe JDAM izstrelka



Vir: Protective Packaging Corporation (2006).

GPS omejuje inercialni zamik, ki se ustvari pri prostem padu z velikih višin, medtem ko inercialni mehanizem deluje kot podporni sistem v primeru, da GPS odpove oz. da pride do motenja signala GPS. Skupaj zagotavljata natančnost zadevanja cilja pod 13 m, medtem ko so tipične natančnosti prostopadajočih bomb znotraj 35 m. V kasnejših testiranjih so dosegli celo trimetrski CEP, potem ko so večkrat odvrgli bombe na testni hangar (Rip in Hasik 2002, 236).

Z izstrelki tipa JDAM lahko celo med letom spreminjamo cilj napada in določimo, kdaj naj se bojna glava razstreli (ob kontaktu, nad ciljem, ob prediranju), kar omogoča izredno fleksibilnost misij – letalom, ki so bila namenjena za uničenje bunkerja, lahko med letom določimo nov cilj, npr. uničenje enot na odprtem terenu. Najbolj navdušujoče pri vsem skupaj pa je morda cena, ki znaša okrog 24.000 \$⁴¹ za en komplet JDAM, kar je morda desetina stroška lasersko vodenih bomb, ki so jih uporabljali v

⁴¹ Izračun temelji na zadnjem naročilu, ki ga je ameriška vojska opravila pri korporaciji McDonnell Douglas marca leta 2006 (Defense Industry Daily 2006).

Vietnamu, in bo kot tak po vsej verjetnosti največji nabavni projekt ameriške vojske, vsaj kar se natančno vodenih izstrelkov tiče.

Podpora s strani kongresa je tudi izredno močna, še posebej kar se tiče integracije v bombnike dolgega dosega (JDAM the First Choice for B-1, B-2 1993, 17). Sam program pa je imel že od začetka dve zahtevi:

- CEP manjši ali enak 13 m ob podpori GPS in
- CEP 30 m brez signala GPS.

V najslabšem primeru bi torej izstrelki z intenzivnim elektronskim motenjem signala GPS zadeli cilj v krogu premera 30 m, brez motenja pa znotraj kroga premera 13 m, čeprav so praktični testi pokazali, da je CEP v resnici manjši in znaša 10,2 m (Scott 1997, 41). Vendar v določenih primerih niti takšna natančnost zadevanja ni dovolj (oklopljeni nadzorni bunkerji, mostovi itd.), zato so v kasnejših fazah razvoja predvideli tudi zmanjšanje radija verjetnosti zadetka na samo 3 m, kar bo mogoče predvsem zaradi izboljšav v GPS-u samemu, kot tudi zaradi dejstva, da izstrelak v zadnji fazi leta preklopi na terminalni iskalec cilja, kot je na primer DAMASK – Direct Attack Munition Affordable SeeKer (Federation of American Scientists 2006).

JDAM tako postaja zelo popularno orožje in kot prvo so ga uporabljali leta 1999 v operaciji Zavezniška sila na Kosovem. Orožje je sedaj v polni proizvodnji in do sedaj so izdelali že več kot 145.000 kosov, med drugim tudi za Izrael (Boeing Defense, Space & Security 2006). Glede na to, da je združljivo z vsemi mogočimi platformami, se za njegovo prihodnost ni bati.

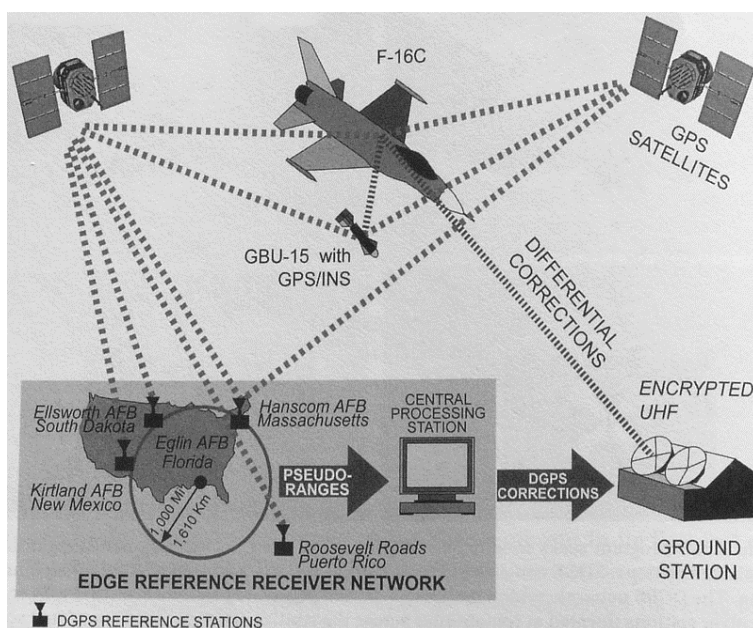
4.2.1.2 EDGE (Exploitation of Differential GPS for Guidance Enhancement)⁴²

Čeprav je natančnost GPS-a zavirljiva, so določene specifične situacije, kjer je potrebna še večja natančnost – v ta namen so začeli z razvojem sistema EDGE (Exploitation of Differential GPS for Guidance Enhancement). S tem so skušali izboljšati natančnost GPS-a z diferencialnimi korekcijami in določenimi spremembami Kalmanovega filtra, ki skrbi za zmanjšanje vpliva vseh izvorov šuma na signal GPS-a.

⁴² Predstavlja način integracije signala DGPS v natančno vodene izstrelke, kot je recimo JDAM.

Leta 1996 so ta sistem testirali v oporišču zračnih sil Eglin na Floridi. Šest bomb tipa GBU-15 so uspešno odvrgli z letala F-16 z višine 9150 in 8000 m v pokončno tarčo, ki je bila oddaljena 22 oz. 26 km. Natančnost zadetka se je gibala od 1,9 do 11,4 m, s povprečjem 3,6 m, kar je mnogo boljše od zahtev JDAM po 13-metrskem maksimalnem odstopanju (Rip in Hasik 2002, 238).

Slika 4.5: Shematski prikaz delovanja EDGE sistema



Vir: Rip in Hasik (2002, 240).

Program EDGE je pokazal nekaj zelo pomembnih izsledkov. Prvi je ta, da je možno doseči natančnosti zadevanja pod enim metrom z uporabo shem WADGPS (Wide Area Differential GPS). In drugič, pokazal je, da z mrežo baznih postaj DGPS, ki so od operativnega cilja lahko oddaljene tudi 1852 km, predstavlja zanimivo iztočnico, za izvajanje operacij kjerkoli po svetu (F-111 Aardvark 2006).

Kasneje so program priključili k posodobljeni različici programa JDAM – JDAM PIP, neodvisna, zasebna podjetja pa so tudi opravila nadaljnja testiranja na podlagi izsledkov programa EDGE in tako še bolj izboljšala natančnost zadevanja, ki je v nedavnih testih dosegla raven 25 cm v horizontalni smeri. Največjo korist iz vseh izsledkov programa pa je imel naslednji opisan program – to je MMTD oz. Miniature Munition Technology Demonstration.

4.2.1.3 MMTD (Miniature Munition Technology Demonstration)

Po uspešnem razvoju in testiranju različnih GPS-vodenih bomb so ameriški vojaški inženirji pričeli z nadaljnjim logičnim korakom – zmanjševanjem velikosti orožja, katerega posledica je bil program »majhnih pametnih bomb«, kot so jih ljubkovalno poimenovali, oz. Miniature Munition Technology Demonstration (MMTD). Program je izredno zanimiv, predvsem, ker je bil razvit z mislijo na nevidne lovce, kjer sta velikost in teža izstrelkov za bombnike z manjšo tovarno zmogljivostjo še kako pomembni.

V razvoju je 112,5 kg težka bomba z dolgo in s tanko obliko, ki ima enako uničujočo moč kakor navadna 907 kg težka predhodnica BLU-109. Z dimenzijo 1,8 m v dolžino in s premerom 153 mm je sposobna popolno napasti 85 % ciljev, ki jih sedaj prodrejo 454-kilogramske bombe. Takšno zmanjšanje teže in tolikšno povečanje uničujočega učinka ob hkratnem zmanjšanju stranske škode je postalo mogoče tudi zaradi povečane natančnosti, ki jo je prispeval GPS. S tem so dosegli »množilni« učinek, saj lahko eno letalo z zmanjšanjem teže in velikosti sedaj odvrže mnogo več bomb in posledično uniči večje število ciljev z enim napadom. Poleg tega pa so odpravili težave, ki so pestile program EDGE, saj so sedaj dosegli povprečni odmik od cilja samo 1,5 m (F-111 Aardvark 2006) ob povečanju razdalje, s katere se bomba lahko odvrže na preko 110 km, s pomočjo posebnega repnega dodatka – Swing Wing Adapter Kit (SWAK) (United States department of defense 2006).

4.2.1.4 Enhanced Paveway in Paveway IV

Lasersko vodeni izstrelki imajo izjemno natančnost, ampak trpijo predvsem zaradi ene pomanjkljivosti, to je vremena – predvsem jih onesposobi nizka oblačnost. Zato sta leta 1997 Raytheon (britanski proizvajalec sistema) in USAF začela na integraciji GPS vodljivosti v sistem Paveway III – poimenovan Enhanced Paveway. S tem so skušali doseči, da se izstrelak bolj približa cilju, preden preklopi na lasersko vodenje, s čimer se močno zmanjša prej omenjena omejitev glede vremena (uporabili so ga celo na Kosovu) (Cook 1999, 5). Paveway IV predstavlja zadnjo generacijo tega orožja z močno izboljšano natančnostjo zadevanja in s povečano modularnostjo sistema. Za britanski program natančno vodenih izstrelkov bodo sistem nameščali na 225-kilogramske bojne glave, vendar se jih lahko namešča tudi na druge. Poleg tega je sistem popolnoma združljiv z najsodobnejšimi priporočili NATA glede silovitega orožja (Intensive

munition safety policy) in je s tega vidika še privlačnejši za vse države članice severnoatlantskega pakta. Britanska RAF bo prve izstrelke Paveway IV prejela septembra letos in bodo postali glavni izstrelki z natančnim vodenjem v Združenem kraljevstvu (Raytheon Systems Limited 2006).

4.2.1.5 AASM (L'Armement Air-Sol Modulaire)

AASM je francoska verzija vodljive bombe prek sistema GPS/INS, ki predstavlja modularni dodatek za 250-kilogramske bombe in jim omogoča natančno vodenje z izstrelitvene razdalje 50 km. Razvijajo ga pri Sagem Defense Securite z namenom nadomestiti lasersko vodene rakete AS.30L in lasersko vodene bombe BGL, ki so jih uporabljali v zalivski vojni. Tri tisoč enot je že bilo naročenih s strani francoske vojske za opremljanje obstoječih bomb pri njihovih lovcih-bombnikih tipa Mirage F1, Mirage 2000, Jaguar in Rafale. Na letalih, opremljenih z NATO-standard 1553 podatkovnim vodilom za posredovanje ciljnih koordinat, bo mogoče izstrelke programirati kar med samim letom. Za vsa ostala letala pa je mogoče cilje vprogramirati že pred samim letom. Ker je sistem modularen, so že v načrtu različice s kasetnim razstrelivom, z aktivnim laserjem, radarjem ali infrardečim senzorjem ter 1000-kilogramska bojna konica za uničevanje najbolj utrjenih ciljev. Različica, vodljiva prek sistema GPS/INS (CEP znotraj 10 m), brez končnega IR vodenja, bo stopila v aktivno uporabo leta 2007, s končnim IR vodenjem (natančnost do 1 m) pa leta 2008 (Sagem Défense Sécurité 2006).

4.2.1.6 AGM-154 JSOW (Joint Stand-Off Weapon)

Program JSOW je ameriška vojska razvila zaradi želje po povečani razdalji odmeta bomb, ki je bil sprva znan pod imenom AIWS (Advanced Interdiction Weapon System) in so ga predstavili že leta 1986. Bomba tega tipa lahko jadra po zraku in omogoča letalskim enotam, da jo odvržejo z razdalje 24–75 km, s čimer se lahko izognejo večini sistemov za zračno obrambo. V prvi različici bombe, ki je stopila v aktivno uporabo leta 1998, se nahaja 454-kilogramska kasetna bomba, ki je učinkovita proti pehoti, lahkim vozilom in protizračni obrambi – sprva je bila namenjena predvsem za slednjo rabo. Bomba za navigacijo uporablja sistem GPS/INS in je prvo jadralno orožje, ki poseduje zmožnost programiranja svoje poti v treh dimenzijah (geografski širini, dolžini in

višini). Podatke ji posreduje sistem na letalu pred izmetom, lahko pa je reprogramirana tudi med samim letom. Za zadnji del leta pa sta na voljo sistema z IR vodenjem ali pa ročnim vodenjem s pomočjo video slike (Federation of American Scientists 2000a).

4.2.1.7 Ostali programi

Obstaja še cela kopica podobnih programov, katerih skupni imenovalec je natančen, modularen sistem vodenja, ki deluje v vseh vremenskih pogojih in uporablja GPS kot glavni ali pa vsaj pomožni sistem vodenja. Rezultati takih programov so vodene bombe tipa AGM-142 Raptor (Have Nap), AGM-130, svoje na tem področju skuša doseči tudi Izrael z nadgradnjo svojih izstrelkov popeye.

4.2.2 VODENE RAKETE

Vodene rakete so pokazale svojo smrtonosnost in fleksibilnost uporabe med vojno v Perzijskem zalivu, kjer so izvedli najdaljši zračni napad v zgodovini z uporabo vodenih raket tipa AGM-86C CALCM (Conventional Air Launched Cruise Missile). Kot posledica tako odlične bojne sposobnosti so začeli v ZDA, Veliki Britaniji, Franciji, Nemčiji, na Kitajskem in v Rusiji razvijati orožje te vrste in verjetno jim bodo sledile tudi druge države.

Uspešna predstavitev natančnega zračnega napada s CALCM raketo tipa AGM-86D (Block II) je bila izvedena 12. 12. 1996, ko so z bombnika B-52H izstrelili omenjeno raketo in po štirih, petih urah leta z novim ostrim kotom napada zadeli cilj na 2–5 m natančno.

4.2.2.1 BGM-109 Tomahawk

Za razliko od prvih različic raket Tomahawk za napade na kopenske cilje sta novejši (Block III in IV) opremljeni tudi s sistemom GPS/INS za vodenje, ki je nadomestil prejšnji sistem TERCOM/INS (TERrain COntour Matching),⁴³ ki je za prepoznavanje ciljev zahteval natančne slike ozemlja in cilja. Med najpomembnejšimi prednostmi, ki

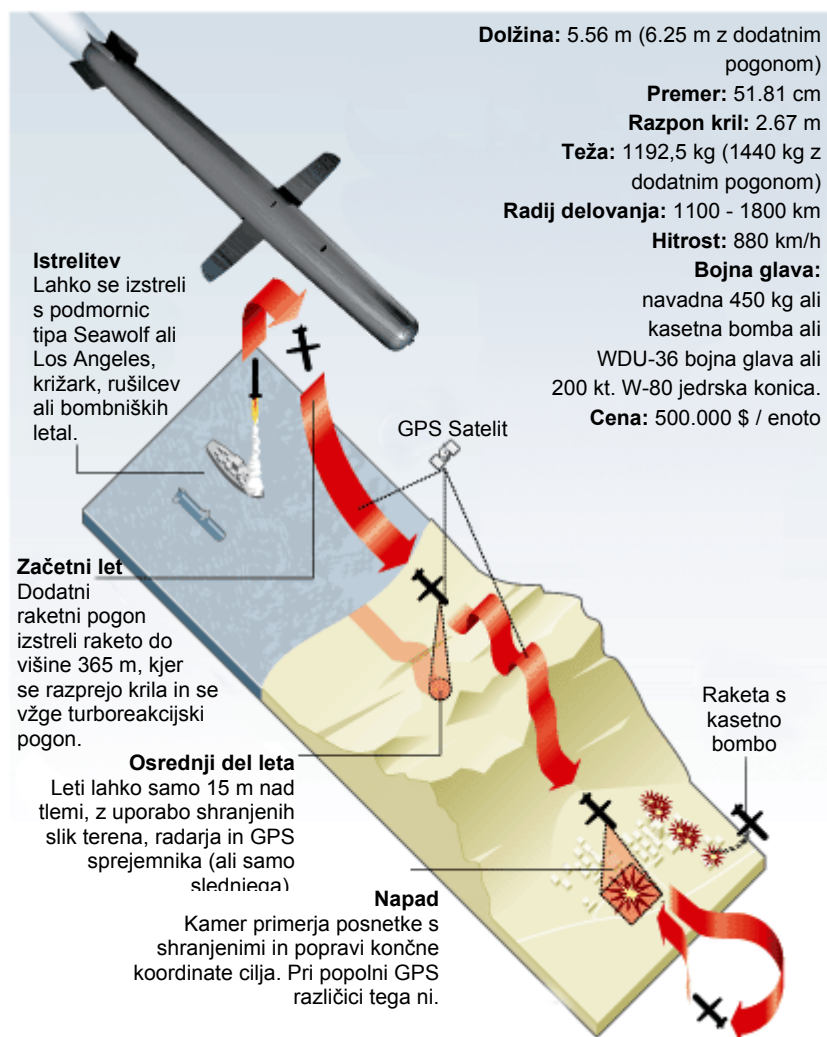
⁴³ Navigacijski sistem, ki ga uporabljajo predvsem križarski izstrelki in uporablja vnaprej posnete obrise zemljevida terena, ki se primerjajo z meritvami, ki jih naredi med letom radarski višinomer na krovu.

jih je prispevala navigacija z GPS-om, je vsekakor lažje načrtovanje misije. Kot je bilo razvidno v Perzijskem zalivu, je bilo načrtovanje operacij po sistemu TERCOM dolgotrajno, kompleksno in omejeno na točno določena geografska ozemlja, saj se je sistem za svojo navigacijo zanašal na slike iz satelitov (Starr 1992, 7).

GPS-vodenje v povezavi z mornariškim sistemom APS za planiranje misij omogoča mnogo fleksibilnejše in hitrejšo izstreljevanje vodenih raket, poleg tega pa raketi ni treba več leteti nad kopnim (kar je bila hiba prejšnjega sistema, ki je le tako lahko pridobil navigacijske točke), ampak se lahko cilju približa tudi z morja. Poleg tega pa sistem ne potrebuje več podatkov o višini terena, saj mu jih posreduje že GPS. Z dodatkom senzorjev v najnovejši različici rakete pa lahko ugotavljamo tudi povzročeno škodo na ciljnih objektih in preusmerjamo raketo med samim letom. S pomočjo infrardečih senzorjev, radarjev LADAR in SAR,⁴⁴ pa lahko Tomahawk napade z velike razdalje tudi številne premične cilje, kot so raketni sistemi SCUD.

⁴⁴ Je vrsta radarja za snemanje terena, ki z gibanjem radarske antene, postavljene pravokotno na smer njenega gibanja, izdelava celotno radarsko sliko površine.

Slika 4.6: Prikaz poti izstrelka Tomahawk od izstrelitve do cilja.



Vir: predelano po Davidson (2003).

4.2.2.2 SLAM »Expanded Response« (SLAM-ER)

Nadgrajena verzija raket ameriških mornariških raket SLAM za napade na kopenske ali morske cilje je postala operativna spomladi leta 1997. Posodobljeno orožje je s seboj prineslo celo kopico nadgradenj: nov večkanalni sprejemnik GPS, ki zagotavlja večjo odpornost na motenje signala; kamero CCD z visoko ločljivostjo za jasnejšo sliko v času zmanjšane vidljivosti (zora in mrak); skoraj podvojen maksimalni plafon leta in povečano maksimalno izstrelitveno razdaljo, ki sedaj znaša 275 km; za konec pa so izboljšali še bojno konico, ki je sedaj mnogo učinkovitejša proti utrjenim ciljem. Mornarica je raketo izbrala, ker lahko natančno zadene točno določen del ladje.

Med zadnjimi testiranjmi, ki so jih opravili letos septembra, je izstrelek SLAM-ER natančno zadel premikajočo se kopensko tarčo in je s tega vidika najbolj natančen izstrelek v uporabi v ameriški mornarici. Poleg tega so ga začeli prodajati tudi v tujino, zaenkrat samo v Južno Korejo (Boeing Defense, Space & Security 2006).

4.2.2.3 Apache

V poznih osemdesetih letih se je francoska obrambna doktrina preusmerila s skrbi o možnem in opredeljivem jedrskem napadu s strani takratne Sovjetske zveze na malo manj določljivo grožnjo konvencionalnega konflikta v Mediteranu oz. številnih francoskih prekomorskih ozemljih. Ker so do tedaj v francoskem letalstvu imeli opremo in so vadili le za te namene, se je v Perzijskem zalivu pokazalo pomanjkanje pri sposobnosti natančnega uničevanja ciljev na dolge razdalje. S tem namenom so razvili program Apache, ki je skozi sicer hiter razvoj postal glavni francoski program za natančno vodene rakete.

Prve teste so izvedli leta 1997 in ta različica rakete je sedaj v uporabi pri francoskih lovcih-bombnikih Mirage in Rafale. Osnovna različica rakete ima velik kasetni dispanzer, ki se uporablja predvsem za uničevanje nasprotnikovih vzletnih stez in drugih lažjih infrastruktur z razdalj do 140 km. Dve kasnejši različici imata manjše visoko eksplozivne konice, primerne za točkovne tarče, in se lahko izstrelita z razdalje do 400 km. Raketa se za navigacijo zanaša na kombiniran sistem GPS/INS in sistem TERCOM, za končni del leta pa uporabljajo infrardeče in radarske senzorje za resnično natančen zadetek (Couvault 1994, 5).

4.2.2.4 Storm Shadow

Leta 1991 so britanske zračne sile (RAF) sodelovale v zalivski vojni in njihova naloga je bila uničenje vzletnih stez z izstrelki JP232, kar je od letalcev zahtevalo nizke prelete nad cilji. Posledica tega je bilo uničenje šestih letal.

Po zalivski vojni je britansko Ministrstvo za obrambo podalo zahtevo, da se vsa bojna letala opremijo z izstrelki tipa CASOM (Conventionally Armed Stand-Off Munition), s čimer bi podobne izgube zmanjšali na najmanjšo možno raven (Couvault 1994, 5). Po

pregledu več možnosti so se odločili za izstrelek tipa Storm Shadow, ki ga proizvaja Matra BAe Dynamics, združeno podjetje francoskega Matra Defense in angleškega British Aerospace. Izstrelek je izpeljanka francoskega izstrelka Apache (opisanega v prejšnjem poglavju) in je trenutno v uporabi v Franciji (pod imenom SCALP), Italiji, Veliki Britaniji, Grčiji in Združenih arabskih emiratih (Rip in Hasik 2002, 260).

Nevidni izstrelek ima doomet nad 250 km, poganja ga turboreakcijski motor s hitrostjo 0,8 Macha in ga lahko izstrelijo z letal Tornado GR4, Tornado IDS, Eurofighter Typhoon, Harrier GR7, Dassault Mirage 2000, F-35 Joint Strike Fighter in Dassault Rafale. Konica tipa BROACH (Bomb Royal Ordnance Augmented CHarge) vsebuje začetni prebojni naboj, ki očisti zemljo ali prodre v bunker, in zakasnitveni vžigalnik, ki sproži eksplozijo glavne bojne glave. Izstrelek tehta okrog 1300 kg, ima premer telesa malce nad 1 m in razpon kril 3 m. Namenjen je uničevanju sistemov C3I, letaliških kompleksov, pristanišč, skladišč streliva, ladij/podmornic v pristaniščih in mostov (MBDA 2007).

Izstrelek je tipa izstreliti in pozabi ter se programira pred samo izstrelitvijo. Ko je enkrat izstreljen, se ga ne da naknadno usmerjati ali uničiti. Celotno misijo je treba načrtovati vnaprej, izstrelek pa sledi vnaprej določeni poti polavtomatsko z nizkim preletom (30–40 m nad tlemi) ob pomoči sprejemnika GPS. Ko se približa tarči, preklopi na vodenje TERCOM-IR in se vzdigne na zadano višino, s katere doseže najugodnejšo možnost prepoznave in zadetka cilja. Izstrelek med vzponom odvrže tudi nosni stožec in tako omogoči IR kameri pogled na cilj. Nato poizkuša na podlagi primerjave slike s shranjenimi posnetki najti tarčo – če ne uspe in obstaja velika verjetnost postranske škode, se usmeri v vnaprej določeno varno točko, kjer se lahko izstrelek razstrelji brez žrtev oz. škode.

Slika 4.7: *Storm Shadow/SCALP EG*



Vir: Aerospaceweb (2004).

Začetna pogodba je bila sklenjena leta 1997 s strani britanskega Ministrstva za obrambo – naročili so 900 kosov. Januarja 1998 je 500 kosov svoje SCALP izvedenke naročila tudi Francija. Prve izstrelitvene poizkuse so opravili že konec leta 2000 in čez dve leti je orožje stopilo v aktivno uporabo pri britanskih zračnih silah, leta 2003 pa so ga uporabili tudi med napadom na Irak.

Poleg osnovne so v razvoju še različica, ki jo bo možno izstreliti z ladje ali s podmornice in bo imela podaljšan doseg na vsaj 1200 km, kar bo že poštena konkurenca izstrelkom Tomahawk.

4.2.2.5 AGM-158 Joint Air-to-surface Standoff Missile (JASSM)

Za kratico JASSM se skrivajo rakete zrak-zemlja kratkega dosega, ki so v bistvu manevrske rakete, namenjene uničevanju širokega spektra kopenskih ciljev. Program so v ameriški vojski nujno potrebovali, potem ko so ukinili program TSSAM (Tri-Service Stand-Off Attack Missile), ker je prekoračil proračunska sredstva, zato je takratni obrambni minister ustanovil skupni program mornarice in letalskih enot, ki bi po hitrem

postopku zadovoljil potrebe obeh vej ameriške vojske po natančni manevrski raketi, ki bi jo bilo mogoče izstreliti izven dosega nasprotnikove obrambe.

Rakete do ciljnega območja priletijo popolnoma avtonomno z nizko višino leta in s profilom leta, ki ustreza terenu (popolnoma nedopredvidljivo), ter se tako lahko zlahka izognejo nasprotnikovim radarjem. Navigacija se med srednjo fazo leta izvaja s pomočjo sistema GPS/INS, ki vsebuje anteno, visoko odporno proti motenju signala (t. i. »null-steering antena«). Zadnjo fazo leta pa lahko izstrelek preleti s pomočjo različnih možnih naprav: s sintetičnim režnim radarjem (SAR), z valovnim radarjem (Milimetric Wave Radar) ali laserskim radarjem. Raketa tehta preko 907 kg in lahko nosi do 454 kg tovora – bodisi kasetno razstrelivo LOCAAS ali bojno glavo z vžigalnikom HTSF,⁴⁵ ki omogoča nadzor eksplozije glede na število prebitih zidov (v večnadstropnih objektih), razdaljo ali čas.

4.2.2.6 Low-Cost, Autonomous Attack System (LOCAAS)

Bombardiranje v Bosni in na Kosovu v devetdesetih letih je pokazalo, da lahko zračne enote z natančnimi vodenimi izstrelki razstrelijo katerokoli fiksno tarčo. Pičel rezultat »Velikega lova na SCUDe« (Rosenau 2001, 29) med zalivsko vojno in dokajšen neuspeh Natovih sil pri zadajanju škode na taktičnih objektih med operacijo na Kosovu leta 1999 sta pokazala, da predstavljajo premične tarče velik izziv za njihove nasprotnike. Sistem LOCAAS naj bi rešil prav takšne zagate.

LOCAAS je zamišljen kot miniaturno, avtonomno orožje, ki je sposobno pregledati določeno območje ter samodejno identificirati in uničiti celo vrsto premičnih zemeljskih ciljev. Sestavljen je iz senzorja LADAR, združenega z večnamensko bojno glavo, in manevrirnega okvirja. Bojna glava zajema tri različne načine delovanja in se med letom lahko avtomatsko prilagodi za napade na posamezne tipe tarč, odvisno od utrjenosti cilja. Različica z mini reakcijskim motorjem lahko poganja izstrelek do 30 minut, s čimer lahko preišče območje velikosti od 45 do 100 km². Med fazo preleta in iskanja primerne tarče izstrelek spremlja svoj položaj s pomočjo sistema GPS/INS in lahko celo komunicira z drugimi enakimi izstrelki, ki se lahko tako na podlagi zbranih informacij

⁴⁵ *Linijski vžigalnik, osnovan na mikrokontrolerju za zakasnjene detonacije prebojnih orožij.*

odločijo, kateri izstrelak ima primernejši položaj za napad določenega cilja. Sistem je zmožen razlikovati med različnimi tipi ciljev in celo prepoznati neoborožene enote. Različica z motorjem naj bi v končni inačici povprečno stala manj kot 30.000 \$ – po podatkih iz leta 1998 (Federation of American Scientists 1999).

4.2.2.7 Taurus KEPD-350

Po dramatičnem primeru natančnosti zadevanja izstrelkov med zalivsko vojno so se nekatere evropske zračne sile odločile vložiti denar v razvoj lastnih rešitev. Nemška Luftwaffe je sprva pristopila k francoskemu programu Apache, vendar so se leta 1997 umaknili zaradi porasta razvojnih stroškov. Posledično so izbrali program Taurus KEPD (Target Adaptive Unitary and Dispenser Robotic Ubiquity System – Kinetic Energy Penetrator Destroyer).

Medtem ko izstrelki Apache svoje tarče uničujejo z gručastimi izstrelki, pa proizvod nemško-švedske naveze vsebuje bojno glavo Mephisto. Izstrelak Taurus je neviden za radarje (stealth tehnologija) in ima doseg preko 350 km. Poganjajo ga turboreakcijski motorji tja do hitrosti 0,9 Macha in mogoče ga je izstreliti iz kopice letal, kot so Tornado, Eurofighter Typhoon, Gripen, F/A-18. Bojna konica je v bistvu dvodelna, prva služi za čiščenje vstopne točke v bunker oz. prebijanje prve stene, druga pa s časovno-variabilnim vžigalnikom nadzira čas eksplozije glavne bojne konice. Raketa tehta okrog 1400 kg in ima maksimalen premer enega metra. Namenjena je uničevanju utrjenih bunkerjev, ciljev C3, letaliških objektov, pristanišč, skladišč streliva, ladij/podmornic v pristaniščih in mostov (Rip in Hasik 2002, 263).

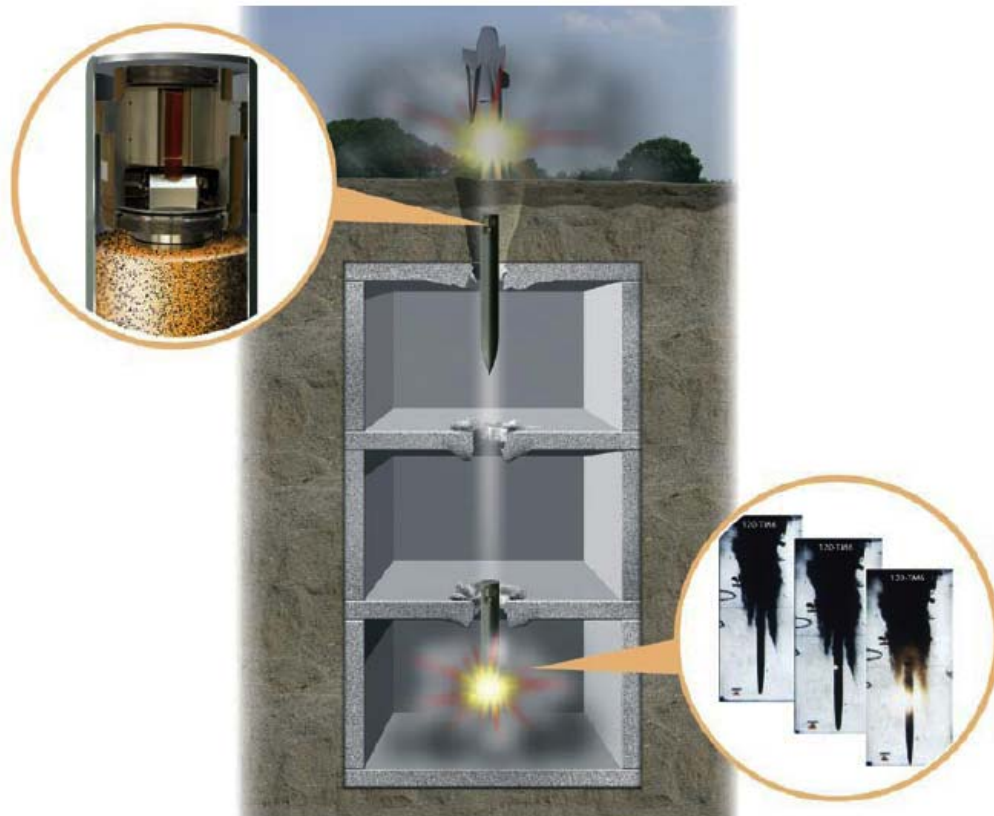
Načrtovalci misije programirajo izstrelak s podatki o tarči, lokacijah zračne obrambe in načrtovani kopenski poti, nato izstrelak potuje na nizki višini ter sledi terenu s pomočjo sistemov GPS/INS, IBN⁴⁶ in TRN⁴⁷ ter tako prileti v bližino tarče, kjer opravi zadnji dvig na določeno višino, s katere ima največjo verjetnost optimalnega zadetka cilja. Končna faza leta se izvede s pomočjo visokoločljivostne IR kamere, ki opazuje teren in

⁴⁶ Način pasivne navigacije s pomočjo primerjanja shranjenih slik terena in trenutnega terena, ki ga izstrelak spremlja prek vgrajene kamere/senzorja.

⁴⁷ Sistem navigacije za zračna plovila, ki uporablja radarski višinomer za mapiranje vertikalnega izseka terena pod plovilom, ki ga primerja s shranjenim v svoji bazi.

primerja posnetke z vnaprej določenimi modeli tarč. Če cilja ne prepozna, se bodisi zanese na ostale navigacijske sisteme (GPS) bodisi odleti na vnaprej določeno varno območje, kjer se razstreli.

Slika 4.8: Primer delovanja večstopenjskega vžigalnika



Vir: Saab Group (2006).

4.2.3 ARTILERIJA

Navkljub ogromnemu uspehu zračnih operacij med zalivsko vojno je pomen kopenske ognjene podpore še vedno zelo velik, še posebej v intenzivnih spopadih. Artilerija zagotavlja konstantno in hitro ognjeno podporo enotam na bojišču, in kot se je izkazalo med zalivsko vojno, je sodobna artilerija naredila bojišče izredno nevarno. Nevarnost pa je obojestranska, saj lahko sodobni radarski sistemi v trenutku izstrelitve na podlagi krivulje leta že izračunajo, od kod je bil naboj izstreljen, in tako izvedejo protinapad. Soočeni s to grožnjo, so artilerijci enot NATO v osemdesetih letih prejšnjega stoletja izvajali taktiko »shoot-and-scoot« (ustreli in pobegni). Sodobna doktrina predvideva premične artilerijske enote, ki izstrelijo samo nekaj nabojev, preden se premaknejo na naslednji izstrelitveni položaj. V takšnem taktičnem okolju šteje vsak naboj.

Kot se je izkazalo med zalivsko vojno, GPS omogoča artilerijskim enotam, da hitro in natančno določijo svoj položaj, s čimer jim omogoča izračun zanesljivih podatkov za obstreljevanje cilja. Brez GPS-a bi lahko enote zanesljivo obstreljevale cilj zgolj iz vnaprej točno določenih položajev, kjer bi že imeli izračunane podatke o kotih in smereh obstreljevanja.

Poleg tega postajajo vse bolj pomembne doktrina o omejenem bojevanju in mirovne operacije, ki omejujejo možnost stranskih poškodb v spopadih. Za operacije, kot sta bili nedavni v Bosni in Somaliji, je potrebna natančnejša artilerija, saj je treba upoštevati velike razdalje, s katerih se takšne operacije vodi, in vso potrebno logistiko zanje v ozadju. Zato ima povečanje verjetnosti zadevanja cilja izstrelkov posledice tudi v logističnem smislu, saj zmanjša potrebo po pogostejši oskrbi. GPS v artileriji tako zmanjša stranske poškodbe pri obstreljevanju in poveča verjetnost uničenja cilja.

4.2.3.1 Land Attack Standard Missile

V prihodnosti naj bi se artilerija, ne glede na to ali bo kopenska ali pomorska, delila v dve kategoriji (Pengelly 1994, 45). Za najbolj pomembne tarče se bo uporabljalo vodljive mobilne raketne sisteme in premične rakete dolgega dosega, ki bodo vsebovali pametne kasetne izstrelke. Takšni izstrelki bodo podpirali hitre podatkovne komunikacije z nadzornim centrom in bodo uporabljeni v vojnah proti zelo pomembnim ciljem, kot so oklepljene enote.

Za natančnejše artilerijske napade pa bodo uporabljali optična vlakna in GPS za vodenje izstrelka. Ameriška mornarica je že posodobila svoje stare izstrelke tipa SM-2 Block-II in Block-III: dodali so jim GPS/INS vodenje in spremenili Mk.125 bojno glavo, hkrati pa ohranili združljivost z dosedanjo izstrelitveno ploščadjo Mk.41, ki je v uporabi v ameriški mornarici. Raytheon je leta 1998 uspešno opravil serijo poizkusov (z manjših razdalj do 90 km), katerih končni proizvod naj bi imel CEP pod 20 m v nemotenem okolju in bi ga bilo možno izstreliti z razdalje do 370 km. Sistem LASM je stopil v operativno uporabo v finančnem letu 2004 in ameriška mornarica namerava posodobiti 1200 svojih izstrelkov, da bodo ustrezali novemu standardu (Braybrook in Gander 2002, 40).

4.2.3.2 GMLRS

Podoben koncept kot LASM uporablja še en ameriški program za raketne izstrelke, namenjene napadom kopenskih ciljev – to je Lockheed Martinov program GMLRS (Guided Multiple Launch Rocket System). Leta 2003 so sklenili pogodbo za začetno nizko raven proizvodnje in decembra 2005 so začeli s polno proizvodnjo. Sistem GMLRS ima dolet preko 70 km in vsebuje sistem GPS/INS vodenja, s pomočjo majhnih kanardov na nosu rakete pa omogoča natančno usmerjanje do cilja, ki ga zadene v petmetrskem krogu (Locheed Martin 2007). Velik uspeh sistemu zagotavlja tudi mednarodno sodelovanje na projektu, ki vključuje še Veliko Britanijo, Nemčijo, Francijo in Italijo, s čimer se ne porazdelijo samo stroški in tveganja, ampak se tudi zagotovi mednarodna združljivost sistemov. Samo ameriška vojska ima v načrtu nakup 100.000 takšnih raket (Federation of American Scientists 2000b).

4.2.3.3 ERGM ali BTERM?

Za večje hitrosti izstreljevanja bo klasična cevna artilerija še v rabi, vendar z vodenimi izstrelki. S tem v mislih razvijajo pri podjetju Raytheon in ameriški mornarici vodene izstrelke dolgega dosega ERGM – 127-milimetrske topovske granate z raketnim pogonom in s sistemom GPS/INS za vodenje. S pomočjo raketnega pogona in t. i. pojava »base-bleeding«⁴⁸ lahko izstrelki uspešno zadene cilje na razdaljah do 115 km s CEP-om polmera, manjšega od 20 m. Na cilju bo izstrelki nato odvrneli tovor 72 izstrelkov XM80 – izpopolnjenega konvencionalnega streliva z dvojno uporabo (DP/ICM – Dual Purpose / Improved Conventional Munition), ki so v svojem bistvu granate, namenjene uničevanju žive sile in lahko oklepljenih vozil (Raytheon 2007).

Ameriška mornarica načrtuje uvedbo enotnih nabojev z vgrajenim iskalcem cilja za napade na tanke oz. ladje. Ta možnost je še posebej zanimiva, saj so lahko do sedaj ladje v ameriški mornarici napadle druga plovila samo, če so bila v dosegu izstrelkov Harpoon, pa še teh so na krovu v večini primerov imeli le osem. S svojim dolgim letom (8 minut za 65 km) in z raketnim pogonom bi izstrelki tipa ERGM omogočili, da bi jih lahko izstrelili več naenkrat na isti cilj, s čimer bi še povečali verjetnost uničenja cilja.

⁴⁸ Pri konvencionalnih topovskih izstrelkih s ploskim dnom se med potovanjem izstrelka naprej pri zadnjem delu ustvarja zračni vakuum (zaradi ravnega dna), ki ga vleče nazaj in zmanjšuje njegov dolet. Z dovajanjem toplega zraka v ta vakuumski žep se zmanjša turbulenca. Določeni izstrelki odpravljajo to napako s pomočjo majhnih reaktivnih motorjev v svojem repu – takšen izstrelki je tipa »base-bleeding«.

Poleg ERGM-ja je med izstrelke daljšega dosega stopil v boj tudi izstrelak BTERM – Ballistic Trajectory Extended Range Munition, ki je skupen proizvod več ameriških podjetij. Izstrelak preleti balistično pot z visoko hitrostjo ob pomoči sistema GPS/INS in je tako drugi sistem v igri za posodobitev 127-milimetrskih mornariških izstrelitvenih sistemov, ki ustrezata zahtevam NSFS (Naval Surface Fire Support). Poleg tega pa ga je mogoče izstreliti tudi iz novejših topov kalibra 62, s čimer lahko mornarici zagotovi sodobno možnost za podporo enotam na kopnem. Katerega od izstrelkov bodo v končni fazi izbrali, je odvisno predvsem od izidov testiranj. Po načrtih je začetna nizko količinska proizvodna faza planirana za konec leta 2009 – v vsakem primeru je vanjo vključen tudi sistem GPS.

4.2.3.4 Excalibur

Excalibur XM982 je družina 155-milimetrskih topovskih izstrelkov naslednje generacije tipa izstrelki in pozabi, ki so vodeni s pomočjo GPS-a. Razvojni program predvideva razvoj treh različic. Prva različica vključuje enotno visoko eksplozivno bojno glavo, ki je zmožna prebiti urbane objekte, a je hkrati učinkovita proti točkovnim tarčam, živi sili in lahkim materialnim tarčam (raketnim izstreliščem, vozilom, radarjem). Vžigalnik ima prav tako tri možne načine delovanja, ki lahko privedejo do eksplozije nad tarčo, ob stiku s tarčo in z zamikom (za prediranje in interno eksplozijo v objektih). S težo 48 kg ima doseg do 40 km.

Izstrelak uporablja interni sprejemnik GPS, odporen na motenje, s katerim popravlja svoj inercialni navigacijski sistem. Velika prednost takega tipa izstrelka je prav v tem, da se za razliko od običajnih artilerijskih izstrelkov njegova natančnost z oddaljenostjo od cilja ne spreminja. Po začetnih zahtevah projekta je moral biti CEP znotraj 20 m polmera kroga, v prvi bojni uporabi v Iraku lansko poletje pa je 92 % vseh izstrelkov padlo znotraj kroga polmera 4 m. To je mnogo natančnejše od zahtevanega, kar je botrovalo k temu, da je ameriška vojska povečala začetno proizvodnjo z 18 na 150 izstrelkov mesečno (Hughes 2007, 20).

Podatki o cilju, položaju izstrelitvene ploščadi in ostale GPS koordinate so avtomatsko vneseni v bojni računalnik izstrelka ob izstrelitvi s ploščadi NLOS-C (Non-Line-of-Sight Cannon), ki jo predvideva ameriški program posodobitve vojske FCS – Future

Combat Systems. Lahko pa se podatke vnese ročno prek prenosne naprave za nastavljanje vžigalnika bojne glave, kakršna je v novejših lahkih digitaliziranih 155-milimetrskih havbicah XM777 in havbicah tipa Paladin. Bojna vrednost izstrelka je bila nagrajena tudi s strani ameriške vojske same, ki je inovacijo uvrstila na seznam desetih najboljših vojaških izumov leta 2007 (U.S. Army Research, Development and Engineering Command 2008).

4.3 DRUGI NAČINI UPORABE NAVSTAR GPS-A

Kot je bilo že opisano v poglavju o primerih uporabe GPS-a pri kopenskih silah v zalivski vojni, se lahko GPS uporablja tudi v bolj podpornih nalogah, od katerih so bile omenjene označevanje izvirov pitne vode, izvidovanje in logistika. Slednja se je od časov zalivske vojne še dodatno posodobila, saj dandanes vpeljujejo v ameriški in britanski vojski sledljivost zalog ter materiala za ves logistični sistem na osnovi GPS-a. V Veliki Britaniji se razvija pod imenom Project Vital, v ameriški vojski pa nosijo majhni radio oddajniki, s katerimi so opremljene vse pošiljke, ime SealTags. Vsak kontejner ima vgrajen dvosmerni radio oddajnik in sprejemnik GPS – tako lahko stalno spremlja vsebino kontejnerja in podatke o vsebini avtomatsko razpošlje v nadzorni center. Tako lahko v centru točno vedo, kdaj je bil kateri kontejner izpraznjen oz. napolnjen in kakšna je njegova trenutna vsebina. Sistem se je izkazal za izredno učinkovitega v dostavi materiala v Somaliji in na Haitiju (Valenti 1995).

4.3.1 ZRAČNI DESANT IN OSKRBA IZ ZRAKA

Čeprav so se zračni desanti skozi zgodovino včasih izkazali za učinkovite, včasih pa sploh ne, dandanes le še redke države vzdržujejo padalske ešalone večjih razsežnosti – večinoma se štejejo kot pripravljene enote lahke pehote, ki jih je možno hitro premestiti na krizno žarišče.

Dandanes je še edino smiselni zračni desant velikosti bataljona ob predpostavki popolne zračne prevlade, s katerim lahko zasedemo določene kritične točke. Vendar zračni desant, sploh če se opravlja v bližini nasprotnikovih sil, predstavlja vedno veliko tveganje, saj med desantom v zraku in kasneje na tleh vlada velika zmeda, enote ostanejo na tleh brez težke ognjene podpore in so dokaj nemobilne. GPS lahko zmanjša

to zmedo, saj lahko že v zraku vodi vojake na točno določeno desantno lokacijo. Tako spusti z višin, večjih od 6 km, in razdalje do 40 km niso nič neobičajnega, pri tem pa na cilj priletijo z natančnostjo 15 m (Rip in Lusch 1994, 272–273).

Kot je bilo že omenjeno pri primerih uporabe GPS-a v zalivski vojni, je zračno spuščanje zalog mnogo lažje. Med vojno v Bosni so s pomočjo GPS-a dostavljali hrano in zdravila v oblegana mesta v nočnem času s pomočjo letal C-130 Hercules (Kennedy 1994). V testiranju pa že imajo tudi avtonomno vodene tovorne kontejnerje, ki bodo avtomatsko prileteli na določen cilj – v slogu odvrzi in pozabi. V Iraku se tudi že testirajo in so v aktivni uporabi sistemi Sherpa (Armed Forces International 2007).

4.3.2 IZOGIBANJE PRIJATELJSKEGA OGNJA

Po podatkih Pentagona naj bi v nesrečah med operacijo Puščavska nevihta umrlo več koalicijskih sil (207 oz. 63 %), kot jih je ubil nasprotnik (124 oz. 37 %). Od tega je pod t. i. »prijateljskim ognjem« umrlo 35 in bilo ranjenih 72 vojakov v 28 različnih nesrečah (Seigel 1991, 3).

Da bi zmanjšali število žrtev zaradi prijateljskega ognja, pa tudi da bi zaščitili drago bojno opremo, so razvili sistem, ki omogoča avtomatsko prepoznavanje in določanje položaja prijateljskih enot, s čimer olajšajo sprejemanje hitrih odločitev v boju in povečajo operativno pripravljenost enot. V ameriški vojski, izbranih koalicijskih silah v Iraku in Afganistanu ter drugod (NATO trenutno tudi testira ta sistem oz. njegovo posodobljeno različico z enotami DAGR⁴⁹ namesto PLGR⁵⁰) uporabljajo sistem FBCB2.

4.3.2.1 FBCB2

Force XXI Battle Command Brigade-and-Below tracking system oz. s kratico FBCB2 je sistem za sledenje enotam na bojišču in obstaja v dveh različicah. Osnovna različica

⁴⁹ Ročni sprejemnik GPS, ki ga uporablja ameriško ministrstvo za obrambo in izbrane tuje vojaške službe, z dvofrekvenčnim sprejemnikom in zmožnostjo dekodiranja signala P (Y).

⁵⁰ Robusten, ročni, enofrekvenčni sprejemnik GPS z možnostjo sprejemanja signala P (Y), ki je bil v uporabi v ameriški vojski do leta 2004, ko ga je nasledil DAGR.

vključuje prenosne enote s sprejemnikom GPS, ki svoj položaj lahko oddajajo prek govornega (SINCGARS) ali podatkovnega kanala (EPLRS) – drugi je osnovni kanal. Različica BFT (Blue Force Tracking) vključuje iste prenosne enote, vendar se tu podatki pretakajo prek satelita SATCOM in se centralno vodijo v poveljniškem centru. Tako lahko v centru določijo, glede na zbrane podatke, katere bodo naprej razposlali v omrežje BFT – tudi glede na razpoložljivo pasovno širino satelitske povezave. Čeprav se podatki o enotah posodablajo vsako sekundo, pa filter razpošlje podatke ostalim enotam samo vsakih nekaj minut, odvisno, ali se enota premika ali stoji na mestu. Poleg tega se lahko na ekranu prikazujejo nasprotnikove enote, minska polja, pomembni objekti – vse, kar je pomembno na bojišču. Vse dodatne podatke o nasprotnikovitih enotah in ostalih pomembnih objektih je mogoče vnesti kadarkoli v sistem. In kar je še najbolj pomembno, nadgradnja obstoječih enot sploh ni zahtevna, saj se zamenjajo samo prenosne enote (Whitford 2005b, 14–19).

5 UPORABA NAVSTAR GPS-A V SLOVENSKI VOJSKI

Za podatke o uporabi GPS-a v Slovenski vojski (dalje SV) sem opravil intervju z nadporočnico Sašo Švigelj, takratno pomočnico za GIS analize iz Oddelka za raziskave in simulacije (ORiS) na Ministrstvu za obrambo. Po skupnem razgovoru in podatkih, ki mi jih je posredovala, pa tudi iz informacij, pridobljenih s spletne strani Ministrstva za obrambo, sem prišel do sklepa, da je v SV uporaba GPS-a razmeroma slaba – omejena je zgolj na nekaj prenosnih naprav GPS in že vgrajenih sistemov.

V centru za usposabljanje v Vipavi je uporaba sprejemnikov GPS opredeljena v podrobnem učnem načrtu – center ima v lasti tri sprejemnike Garmin Map 60 CSX. V šoli za (pod)častnike uporaba GPS-a ni podrobneje opredeljena v učnem načrtu, vendar kandidati razpolagajo s 15 enotami, imajo eno uro osnov GPS-a in v okviru pohoda triurno praktično usposabljanje. Nekaj malega izobraževanja izvajajo tudi v centru PDRIU in Poveljniško-štabni šoli, medtem ko je v gorski šoli izobraževanje bolj samoiniciativno (Švigelj, 2007).

V posameznih enotah imajo predvsem Garminove sprejemnike GPS (Garmin Map 76CS, GarminMap 60 CSX) pa tudi nekaj sprejemnikov Magellan Sport Track in Trimble. To so popolnoma tržni, civilni sprejemniki, dostopni v prosti prodaji, namenjeni pohodnikom, kolesarjem itd. Izobraževanje in usposabljanje iz posameznih tipov sprejemnikov je urejeno v posameznih enotah, čeprav bi se mogoče lahko še nekoliko izboljšalo, predvsem z ustrežno programsko opremo in administrativnim dostopom do računalnika, saj vojaki brez tega enot ne morejo povezati s prenosniki in tako nalagati ustreznih map ter izvajati naknadnih analiz podatkov (Švigelj, 2007).

V artilerijskem bataljonu, 430. mornariškem oddelku, 9. bataljonu zračne obrambe, 15. helikopterskem bataljonu in letalski bazi Pilatus pa imajo specifične sprejemnike GPS, predvsem za določanje lokalnega časa in položaja ter kot sredstvo sekundarne navigacije. Primarno se še vedno uporabljata karta in radionavigacija. Tukaj velja omeniti še VERC (Verifikacijski center), ki je del programa Open Skys, mednarodne pogodbe o odprtih zračnih prostorih, znotraj katerega veljajo določena pravila o

odobritvah in nadzoru letalskega snemanja, katerega posnetki so nato na voljo vsem državam podpisnicam pogodbe (Švigelj, 2007).

5.1 SLOVENSKA BREZPILOTNA LETALA

Med dejavnimi področji slovenske obrambne industrije, ki jo je zdesetkal razpad nekdanje Jugoslavije, je tudi razvoj brezpilotnih letal. Za razliko od Patrij je tudi v celoti plod slovenskega znanja. Tako je na natečaju Agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) v okviru Ciljnih raziskovalnih programov (CRP) sodelovalo tudi ajdovsko podjetje C-Astral, ki je razvilo popolnoma avtonomno brezpilotno letalo Bramor.

»Slovenska vojska bo brezpilotne sisteme uvedla v 5. obveščevalno izvidniški bataljon (5. OIB), ki deluje na Vrhniki. Uporabljali jih bodo za različne naloge v Sloveniji in tujini, kot so izvidniške naloge in nadzor bojišča, ter za pomoč pri urjenju artilerije. Ti sistemi bi lahko nadomestili izvidnike za korekturo artilerijskega ognja, ob naravnih ali drugih naravnih nesrečah pa bodo na voljo tudi za civilne potrebe v sistemu zaščite in reševanja. Brezpilotne sisteme bodo v tujini uporabljali za nadzor ter izvidniške in obveščevalne naloge v operacijah v podporo miru. Pripadniki 5. OIB bodo glede na potrebe po teh sistemih za določen čas dodeljeni drugim enotam. Hkrati bo to v Slovenski vojski edina enota, ki bo opremljena z njimi. V začetni fazi bo SV uporabljala nekaj sistemov predvsem za usposabljanje posadk in omejeno uporabo v realnih nalogah. Uvajanje je precej dolgo, zato število brezpilotnih sistemov, ki jih bo SV kupila, še ni določeno, bo pa odvisno od začetnih rezultatov uvajanja v uporabo ter takratnih usmeritev glede delovanja in razvoja SV« (Podgoršek 2008, 13). Seveda se vse skupaj lepo sliši, če se le ne bo pripetila podobna zgodba kot v primeru podjetja Aviatech, ko so za izvajanje bojnega streljanja s sistemi Roland raje izbrali desetkrat dražje tuje modele, kot pa podprli slovensko industrijo (Mekina 2009).

Naloge, ki jih brezpilotno letalo C-Astral BRAMOR lahko izvaja s pomočjo GPS-a, so:

- zadetek ali pristajanje v tarčo s pomočjo vmesnika grafičnega senzorja,
- dodatne meritve časa, hitrosti in višine,
- kalkulacija koordinat oddaljenih tarč ali ovir na terenu,
- izračun zanosa padala pri pristajanju v vetrovnih razmerah,

- izračun smeri vetra,
- stabilizacija slike senzorja v točko na terenu,
- točkovna navigacija,
- georeferenciranje slik pri avtonomnem proženju ortofoto aplikacije,
- kalkulacija koordinat oddaljenih tarč na terenu za popravek ognja pri artileriji,
- pristajanje na premikajočo se platformo,
- sledenje in varovanje konvojev,
- natančno lociranje kriznih mest (požari, poplava, sovražnik) ter
- sledenje premikajočih tarč s popravkom vmesnika grafičnega senzorja (Stopar, 2009).

Kdaj, če sploh, bodo letala v praksi začeli uporabljati, ni znano.

Svetla izjema na tem področju je podjetje ComTrade. Na pravkar končanem vrhu zaveznitva NATO so vse države članice podpisale 1,3 milijarde evrov vredno pogodbo za nakup petih brezpilotnih letal Global Hawk proizvajalca Northrop Grumman. Račun bo poravnalo 14 članic, med njimi tudi Slovenija, kar naj bi nas v prihodnjih petih letih stalo približno šest milijonov evrov. Northrop Grumman bo kot glavni izvajalec izdelal in opremil letala, evropska podjetja iz držav plačnic pa naj bi v vlogi podizvajalcev poskrbela za gradnjo kopenskih postaj za njihovo vodenje. Slovenski delež pa naj bi prispevalo informacijsko-tehnološko podjetje ComTrade (Zgonik 2012).

6 SKLEP

NAVSTAR GPS predstavlja brez dvoma eno najbolj pomembnih tehnologij na področju podpore sistemom C2 od izuma brezžičnih telegrafov dalje. S svojo sposobnostjo določanja položaja na manj kot meter natančno je že dramatično vplival na potek številnih spopadov, med katerimi izstopa zalivska vojna, saj je tedaj prvič v zgodovini že vsak posamezni vojak lahko pridobil v realnem času dostopne taktične podatke o dogajanju na bojišču. Čeprav je od ukinitve signala SA natančno določanje položaja dostopno vsem (trenutno pod 3 metri (National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing 2012)), tako zaveznikom, kot sovražnikom, pa je ključna paradigma, ki se tu pojavlja, ali bodo lahko vsi to tehnologijo izkoristili. Obvladovanje GPS-a zahteva obvladovanje njegove integracije z ostalimi vojaškimi tehnologijami, s čimer bo omogočen hiter pretok informacij do enot na bojišču, ki te informacije potrebujejo. Na takšen način se izničijo številne težave pri sprejemanju odločitev zaradi pomanjkljivih informacij o dogajanju na bojišču in poveča natančnost zadevanja izstrelkov na samem bojišču. Tako bo eno ključnih področij delovanja vojaške industrije ravno konvergenca in integracija vseh teh različnih tehnologij v enoten sistem. Preprosti primeri prikažejo, kaj lahko dosežemo s sinergijo tehnologij. Uporaba naprav za nočno gledanje v povezavi s sprejemniki GPS v oklepnikih med operacijo Puščavska nevihta je omogočila prvo neprekinjeno bitko sredi puščavskega terena v širšem obsegu. Logistika je med bojevanjem potekala zanesljiveje, artilerijski izstrelki so pogosteje zadeli cilj, reševalne enote pa so hitreje in učinkoviteje vračale padle vojake.

Prva hipoteza, ki sem jo predpostavil v svojem diplomskem delu, se glasi: *uporaba GNSS-a v oboroženih silah prispeva k večji učinkovitosti vojskovanja*. Učinkovit in posledično varen oborožitveni sistem je tisti, s katerim zadenemo cilj na točno določenem mestu, ki povzroči maksimalno škodo in ki pri izvajanju napada ne poškoduje nobenega civilista, niti bližnjih stavb. Med zalivsko vojno se je jasno pokazalo, kakšno težo je pridobilo tudi javno mnenje pri dopuščanju določene vojaške agresije in med vojno v Bosni se je občutljivost na civilne žrtve še povečala. Zato ne čudi dejstvo, da se je odstotek odvrženih natančno vodenih izstrelkov dvignil s »7 % v vojni v Iraku na neverjetnih 60 % v vojni v Bosni ter 80 % med konfliktom na Kosovu«

(Rip in Hasik 2002, 224). Do postranske škode je še vedno prihajalo, saj ima tudi GPS svoje pomanjkljivosti – navsezadnje je to nova tehnologija. Vprašanje, ki se postavlja, je, ali bi se lahko takšna operacija zaključila uspešno tudi brez uporabe GPS-a. Vsekakor se o tem da razpravljati, jasno pa je, da bi v tem primeru konflikt napredoval počasneje, več bi bilo smrtnih žrtev na obeh straneh in zadovoljstvo članic NATA, ki so odobrile bombardiranje, bi kaj hitro skopnelo. S podaljšanjem operacije bi stroški ogromno narasli in politična podpora bi upadla. Poleg tega je tehnologija GPS omogočila znatno zmanjšanje števila smrti na bojišču kot posledica prijateljskega ognja, saj imajo vojaki na bojišču boljši pregled nad lastnim položajem in položajem nasprotnikovih enot. Tako lahko z večjo natančnostjo usmerjajo ogenj proti nasprotnikovim silam. Čeprav je med zalivsko vojno kar četrtno izgub še vedno povzročil prijateljski ogenj, gre to delno pripisati tudi dejstvu, da vse enote niso imele sprejemnikov GPS, in verjetno tudi temu, da je bilo skupno število žrtev dokaj nizko. Svojo prvo hipotezo lahko tako v celoti potrdim. Navkljub dejstvu, da so vsi javno dostopni podatki v tem trenutku izključno vezani na sistem NAVSTAR GPS, pa je jasno, da bodo v prihodnje oborožitveni sistemi omogočali sprejemanje signalov iz vseh sistemov GNSS, ki bodo na voljo.

Kot drugo hipotezo sem predpostavljal da je *GPS postal v oboroženih silah držav članic zaveznitva NATO osnovni gradnik za določanje položaja, navigacijo in natančno določanje časa, zato se njegovo uporabo vključuje v vedno več obstoječih sistemov, razvijajo pa se tudi številni novi načini njegove uporabe*. To hipotezo lahko v celoti potrdim, saj sem lahko zaradi daljšega obdobja pisanja diplomskega dela videl nove in nove oborožitvene sisteme, ki so prihajali v operativno uporabo. Če je bilo v začetku pisanja težavno sploh dobiti kakršnokoli literaturo na to temo, danes vsekakor ni več tako. Oprema GPS se vgrajuje v praktično vse oborožitvene platforme (ladje, letala, oklepne itd.) kot primarni vir radionavigacijskih podatkov ter se bolj in bolj integrira z ostalimi senzorji za določanje položaja in navigacijo (inercijskimi sistemi, višinomeri). V ročnih izvedenkah omogoča premikanje kopenskim enotam in vozilom. Z ustrezno programsko opremo je sedaj mogoče hitro ustvariti zemljevid bojišča, določiti položaje za artilerijo in položaje za oskrbo enot. Časovna in prostorska komponenta signala GPS sta osnovi za vsakršno komunikacijo med zaledjem in enotami v prvih bojnih linijah, ki bi morda potrebovale logistično ali ognjeno podporo v katerikoli fazi vojaške operacije.

S svojim pasivnim delovanjem je idealen za prikrito delovanje med specialnimi operacijami, reševalnimi akcijami in hitrim umikanjem.

Celoten spekter prednosti, ki jih je prinesla tehnologija GPS v način vodenja oboroženih spopadov, ne bo znan še nekaj let. A že sedaj lahko vsak mesec preberemo o novih in inovativnih načinih uporabe te tehnologije. Navkljub temu, da še ne izpolnjuje vseh vojaških zahtev po natančni navigaciji in določanju položaja pa tudi ni popolnoma nezmotljiva, vojaška industrija in vojske po svetu že vgrajujejo GPS v vse obstoječe in nove oborožitvene sisteme. Čeprav so se začetni razvojni vložki v devetdesetih usmerjali pretežno v letalske in raketne sisteme, smo zadnja leta priča razcvetu tehnologije GPS na vseh področjih vojaške industrije.

Pri svoji tretji hipotezi sem predpostavljal, da *Slovenska vojska v skladu s svojimi zmognostmi sledi trendom uporabe GPS-a v vojaške namene*. Stanje v Sloveniji je seveda glede na njeno majhnost in vpetost pod okrilje držav pakta NATO temu primerno. Razen redkih vgrajenih sistemov v letalstvu so vsi ostali sprejemniki GPS v uporabi popolnoma civilne narave – dostopni v prosti prodaji. Kar pa ni napačno, saj z razvojem elektronike postajajo vse bolj napredni in omogočajo funkcije, ki so jih v preteklosti vsebovali samo vojaški sprejemniki. Za navigacijo pehote in vozil, pa tudi letalstva, zadostujejo, saj pri njih ni nobene potrebe po visoki natančnosti. Drugo vprašanje pa so artilerijske enote, brezpilotna letala in vodeni izstrelki. Slednjih nimamo, tako da je glavna razvoja vojaških sistemov GPS za nas vnaprej izvzeta. V 460. artilerijskem bataljonu še vedno streljamo s havbicami TN90 z »neumnimi« projektili. Edino področje pri integraciji sistemov GPS v oborožitvene sisteme, na katerem smo aktivni, so brezpilotna letala.

Navkljub javnemu razpisu v letu 2006 za izbiro aplikativnih raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »ZNANJE ZA VARNOST IN MIR 2006–2010«, kjer sta bili izbrani dve skupini/podjetji in projekt uspešno zaključili, pa do operativne uporabe še ni prišlo. Zdi se, kot da slovenska politika nima posluha za domačo industrijo, tako da morajo slovenska podjetja ne le samostojno nastopati na svetovnem trgu, niti na domačem trgu ne pridejo na svoj račun. Svojo tretjo hipotezo lahko sicer potrdim, ampak ostaja grenak priokus, da bi na tem področju lahko naredili več. Kot članica pakta NATO smo seveda obvezani na določene pogodbene nakupne obveznosti,

mislilim pa, da bi se morali v okviru posodobitev oborožitvenih sistemov bolj opirati na domače znanje, za katerega se zdi, kot da je od osamosvojitve dalje pozabljeno.

7 LITERATURA

1. Armed Forces International. 2007. *GPS-guided parachutes increase safety in resupply*. Dostopno prek: <http://www.armedforces-int.com/article/gps-guided-parachutes.html> (15. oktober 2008).
2. Aerospaceweb. 2004. *Storm Shadow Cruise Missile*. Dostopno prek: <http://www.aerospaceweb.org/question/weapons/q0120.shtml> (30. april 2004).
3. Armitage, Michael. 1988. *Unmanned Aircraft*. London: Brassey's.
4. Bliksted, Mikael Larsen. 2006. *The Autonomous Redundant Navigation System of an AUV for Mine Counter Measures*. ATLAS MARIDAN ApS. Dostopno prek: <http://www.maridan.atlas-elektronik.com/fileadmin/Objekte/MARIDAN/Products/Navigation/UDT2006.pdf> (1. oktober 2008).
5. Boeing Defense, Space & Security. 2005. *Joint Direct Attack Munition (JDAM)*. Dostopno prek: http://www.boeing.com/defense-space/missiles/jdam/docs/jdam_overview.pdf (4. avgust 2006).
6. Boeing Defense, Space & Security. 2006. *Standoff Land Attack Missile – Expanded Response SLAM-ER*. Dostopno prek: <http://www.boeing.com/defense-space/missiles/slam/index.htm> (26. oktober 2006).
7. Braybrook, Roy in Terry Gander. 2002. Far Reaching Propositions. *Armada International* (1): 36–50.
8. Brown, D. K. in D. Foxwell. 1991. The Gulf War in Review – Report from the Front: MCM and the Threat beneath the Surface. *International Defence Review* 24 (7): 35–46.
9. Burgess, Rick L. 1991. Orions over Arabia. *Naval Aviation News* 73 (6): 14–16.
10. Coburn, David. 2007. *Land Warrior System: Inside the Pentagon's New High-Tech Gear*. Dostopno prek: http://www.popularmechanics.com/technology/military_law/4215725.html (16. november 2012).
11. Cook, Nick. 1999. Satellite-guided Bomb Poised for Action in Serbia. *Jane's Defence Weekly* 36 (17): 4–6.
12. Covault, Craig. 1994. Matra's CASOM would be based on Apache. *Jane's Defence Weekly* 31 (36): 5.
13. Cox, Matthew. 2008. *Land Warrior: Now or later?* Dostopno prek: http://www.armytimes.com/news/2008/10/army_landwarrior_101308w (26. julij 2009).

14. Davidson, Keay. 2003. *Pentagon gets chance to use newest weapons / High-tech arsenal boasts innovations costing billions - but will they work?* Dostopno prek: <http://www.11-septembre.com/web/terrorize.dk/misc/weapons/tomahawk.html> (16. november 2012).
15. Defense Industry Daily. 2006. *USA Orders 10,000 JDAMs for \$240M*. Dostopno prek: <http://www.defenseindustrydaily.com/usa-orders-10000-jdams-for-240m-01987> (4. avgust 2006).
16. F-111 Aardvark. 2006. *The USAF EDGE High Gear Program*. Dostopno prek: <http://www.f-111.net/CarloKopp/edge-gbu-15.htm> (6. avgust 2006).
17. Federation of American Scientists. 1999. *Low Cost Autonomous Attack System (LOCAAS)*. Dostopno prek: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/locaas.htm> (19. marec 2007).
18. --- 2000a. *AGM-154A Joint Standoff Weapon [JSOW]*. Dostopno prek: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/agm-154.htm> (5. september 2006).
19. --- 2000b. *M30 Guided Multiple Launch Rocket System (MLRS)*. Dostopno prek: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/mlrs-g.htm> (17. april 2007).
20. --- 2001. *Joint Direct Attack Munition (JDAM)*. Dostopno prek: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/jdam.htm> (4. avgust 2006).
21. Fulghum, D. A. 1991. Allied Air Power, Forward Controllers Back Arabs to Make Their Drive Succeed. *Aviation Week & Space Technology* 134 (16): 71–73.
22. --- 1995. New UAV ForceForms at Nellis. *Aviation Week & Space Technology* 143 (5): 20–22.
23. Gažević, Nikola. 1973. *Vojna enciklopedija*. Beograd: Redakcija Vojne enciklopedije.
24. *Military Space*. 1991. GPS Used to Monitor Army War Shipments, 6–7 (12. avgust).
25. Grewal, Mohinder S., Lawrence R. Weill in Angus P. Andrews. 2007. *Global positioning systems, inertial navigation and integration*. Hoboken: Wiley-Interscience.
26. Hallion, Richard P. 1992. *Storm over Iraq: Air Power and the Gulf War*. Washington: Smithsonian Books.
27. Hasik, James in Michael Rip. 2003. An Evaluation of the Military Benefits of the Galileo System. *GPS World* 14 (4): 28–31.

28. HubPages. 2012. *How Does GPS Work In Cell Phones?*. Dostopno prek: <http://joem.hubpages.com/hub/How-Does-GPS-Work-In-Cell-Phones> (16. november 2012).
29. Hughes, David. 2007. Army accelerating Excalibur production after Iraq debut. *Aviation Week & Space Technology* 167 (13): 20.
30. Jasani, Bhupendra. 1994. *Verification of a Comprehensive Test Ban Treaty from Space: A Preliminary Study*. Ženeva: UNIDIR.
31. *Jane's Defence Weekly*. 1993. JDAM the First Choice for B-1, B-2, 30 (50): 17.
32. Kennedy, Harold. 2001. Army Aims for More Precise Ways to Drop Troops, Cargo. *National Defense* 86 (573): 44.
33. Kozmus, Klemen in Bojan Stopar. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. *Geodetski vestnik* 47 (4): 404–413.
34. Langley, B. Richard. 2009. GPS constellation maxed out at 30. *GPS World* 11 (20): 8–10.
35. Lissai, Gidon. 2006. *Assisted GPS Solution in Cellular Networks*. Dostopno prek: <http://ritdml.rit.edu/bitstream/handle/1850/3671/GLissaiThesis11-2006.pdf> (20. marec 2007).
36. Lockheed Martin. 2007. *GMLRS, Guided MLRS*. Dostopno prek: <http://www.lockheedmartin.com/data/assets/12825.pdf> (17. april 2007).
37. --- 2008. *Multifunction Utility/Logistics and Equipment Vehicle / Armed Robotic Vehicle-Assault (Light)*. Dostopno prek: <http://www.lockheedmartin.com/data/assets/12822.pdf> (28. julij 2008).
38. Luttwak, Edward in Stuart Koehl. 1998. *The Dictionary of Modern War*. New York: Gramercy Books.
39. MBDA. 2007. *Storm Shadow/SCALP*. Dostopno prek: http://www.mbda-systems.com/mbda/site/ref/scripts/siteFO_contenu.php?lang=EN&noeu_id=120&page_id=115 (5. november 2007).
40. Mekina, Borut. 2009. Streljali na leteče mercedese. *Mladina*, 9 (5. marec).
41. Monthorpe, H. J. William. 1996. The Emerging Joint System of Systems: A Systems Engineering Challenge and Opportunity for APL. *APL Technical Digest* 17 (3). Dostopno prek: <http://techdigest.jhuapl.edu/td/td1703/manthorp.pdf> (13. julij 2006).
42. Munro, Neil. 1991. In with the old. *Army Times* 51(51): 22.

43. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. 2012. *GPS Accuracy*. Dostopno prek: <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy> (30. oktober 2012).
44. Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje. 2005. *Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME*, priloga III: Merske metode za spremljanje prekinov zemeljskih plazov. Dostopno prek: http://www.sos112.si/slo/tdocs/merske_metode.pdf (20. avgust 2009).
45. Pace, Scott, Gerald Frost, Irving Lachow, David Frelinger, Donna Fossum, Donald K. Wassem in Monica Pinto. 1995. *The Global Positioning System: Assessing National Policies*. Santa Monica: RAND.
46. Pavlovčič Prešeren, Polona in Bojan Stopar. 2004. Izračun položaja GPS-satelita iz podatkov oddanih efemerid. *Geodetski vestnik* 48 (2): 151–166.
47. Pengelley, Rupert. 1994. Decision Time for Artillery Fire Control. *International Defence Review* 27 (12): 45–52.
48. Petelin, Darko, ur. 2006. *Vojaška doktrina*. Ljubljana: Defensor.
49. Petrovič, Dušan. 2010. *Uporaba prostorskih podatkov, predavanja prostorska informatika*. FDV: študijsko gradivo.
50. Podgoršek, Borut. 2008. Projekt brezpilotnih sistemov v SV. *Revija Slovenska Vojska* 16 (10). Dostopno prek: http://www.mo.gov.si/fileadmin/mo.gov.si/pageuploads/revija_sv/2008/sv08_10.pdf (9. marec 2009).
51. Pollack, Andrew. 1994. North Koreans Free U.S. Pilot Held 13 Days. *New York Times*, 30. december. Dostopno prek: <http://www.nytimes.com/1994/12/30/world/north-koreans-free-us-pilot-held-13-days.html> (18. julij 2006).
52. Protective Packaging Corporation. 2006. *JDAM precision guided weapons system*. Dostopno prek: <http://www.protectivepackaging.net/jdam-weapons-system> (30. julij 2006).
53. *GPS World*. 2008. Putin Pumps it Up, 19 (10): 14–15.
54. Raytheon. 2006. *U.S. Army Awards \$42.7 Million Contract to Raytheon for Excalibur Production*. 2006. Dostopno prek: <http://investor.raytheon.com/phoenix.zhtml?c=84193&p=irol-newsArticle&ID=874724> (1. oktober 2008).
55. --- 2007. *Extended Range Guided Munition (ERGM)*. Dostopno prek: <http://www.raytheon.com/products/ergm> (6. maj 2007).

56. Raytheon Systems Limited. 2006. *Paveway IV Precision Guided Bomb*. Dostopno prek: http://www.raytheon.co.uk/capabilities/products/missilesystems/paveway_iv/index.html (10. avgust 2006).
57. Rip, Michael Russel in James M. Hasik. 2002. *The Precision Revolution: GPS and the Future of Aerial Warfare*. Annapolis: Naval Institute Press.
58. Rip, Michael Russel in David P. Lusch. 1994. The Precision Revolution: The Navstar Global Positioning System in the Second Gulf War. *Intelligence and National Security* 9 (2): 167–241.
59. Rosenau, William. 2001. *Special Operations Forces and Elusive Enemy Ground Targets: Lessons from Vietnam and the Persian Gulf War*. Santa Monica: Project Air Force/Rand.
60. Rutherford, Mark. 2008. *Robo-buggy patrols the wire*. Dostopno prek: http://news.cnet.com/8301-13639_3-10006756-42.html (28. julij 2009).
61. Saab Group. 2006. *Taurus KEPD 350 Modular Stand-Off Missile System*. Dostopno prek: <http://products.saabgroup.com/PDBWebNew/GetFile.aspx?PathType=ProductFiles&FileType=Files&Id=4695> (18. maj 2006).
62. Sagem Défense Sécurité. 2006. *AASM: from precision guided munitions to smart weapons*. Dostopno prek: <http://www.sagem-ds.com/spip.php?rubrique80> (10. avgust 2006).
63. Samama, Nel. 2008. *Global Positioning – Technologies and Performance*. New Jersey: John Wiley & Sons, Hoboken.
64. Scales, Robert H., ur. 1993. *Certain Victory: The U. S. Army in the Gulf War*. Washington: U. S. Government Printing Office.
65. Scicchitano, J. P. 1991. Night Strikes: The Secret War of the 1st Cavalry Division. *Army Times* 52 (8): 14–16.
66. Scott, William. 1997. USAF's B-2 Ready to Debut. *Aviation Week & Space Technology* 146 (12): 41.
67. Seigel, Greg. 1991. No 'Magic Shield' – Quick fix Coming for Friendly Fire; Long-Term Plan Elusive. *Army Times* 52 (21): 3.
68. --- 1999. Special forces involvement confirmed. *Jane's Defence Weekly* 36 (16): 4.
69. SinoDefence. 2008. *BeiDou 1 Satellite Navigation Experimental System*. Dostopno prek: <http://www.sinodefence.com/space/spacecraft/beidou1.asp> (1. oktober 2008)

70. Sistemilaser. 2012. *Glionass System*. Dostopno prek: <http://www.glonass.it/eng/glonass-story.aspx> (16. november 2012).
71. Sofge, Erik. 2007. *Robot Boats Hunt High-Tech Pirates on the High-Speed Seas*. Dostopno prek: <http://www.popularmechanics.com/technology/military/navy-ships/4229443> (16. november 2012).
72. Space War. 2006. *Protector Unmanned Surface Vehicle Demonstrated US Navy and Coast Guard*. Dostopno prek: http://www.spacewar.com/reports/Protector_Unmanned_Surface_Vehicle_Demonstrated_US_Navy_and_Coast_Guard_999.html (20. marec 2010).
73. Starr, Barbara. 1992. U. S. Navy Planning 'Smarter' Cruise. *Jane's Defence Weekly* 29 (35): 7.
74. Stopar, Bojan. 2005. Določitev absolutnega položaja GPS sprejemnika iz kodnih opazovanj. *Geodetski vestnik* 49 (3): 373–394.
75. Stopar, Samo. 2009. Intervju z avtorjem, 9. marec.
76. Strategy Page. 2009. *The Ghost Of Land Warrior Goes To Afghanistan*. Dostopno prek: <http://www.strategypage.com/htm/htinf/20090708.aspx> (15. september 2009).
77. Švigelj, Saša. 2007. Intervju z avtorjem. Ljubljana, 17. november.
78. United States department of defense. 2004. *Global Hawk*. Dostopno prek: <http://www.defense.gov/transformation/photoessay/2004-11/tp20041102a1.html> (16. november 2012).
79. --- 2006. *Small Diameter Bomb Provides Big Capabilities*. Dostopno prek: <http://www.defense.gov/transformation/articles/2006-03/ta032406b.html> (6. avgust 2006).
80. United States Navy. 2007. *The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan*. Dostopno prek: <http://www.navy.mil/navydata/technology/usvmppr.pdf> (20. marec 2010).
81. U.S. Army Research, Development and Engineering Command. 2008. *Greatest Army inventions of 2007 Announced*. Dostopno prek: <http://www.army.mil/article/9458/> (1. oktober 2008).
82. U.S. Forces praise performance of GPS but suggest improvements. 1991. *Aviation Week & Space Technology* 134 (16): 75.
83. Valenti, Michael. 1995. Cargo 54, Where are you? (Just-in-Time Logistics). *The Economist* 334(7901): 73–74.

84. Wasserbly, Daniel. 2009. US Army selects companies for GSE tech development. *Janes's Defence Weekly* 46 (17): 8.
85. Whitford, Marty. 2005a. In the Swim. *GPS World* 4 (16): 10–15.
86. --- 2005b. Friend or Foe? – FBCB2 Enhances Battle Planning, Reduces 'Friendly Fire'. *GPS World* 2 (16): 14–19.
87. Zgonik, Staš. 2012. Resne igrače. *Mladina*, 21 (11. avgust).
88. Žabkar, Anton. 2003. *Marsova dediščina – Temelji vojaških ved, 1. knjiga*. Ljubljana: Fakulteta za družbene vede.