

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**POSLIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ  
POMORSKOG PROMETA**

**KREŠIMIR BALJAK**

**DOPRINOS RAZVOJU MODELA DGPS-A U JADRANU–E**

**MAGISTARSKI RAD**

**SPLIT, 2009.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**POSLIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ  
POMORSKOG PROMETA**

**SMJER: POMORSKA NAUTIKA**

**DOPRINOS RAZVOJU MODELA DGPS-A U JADRANU–E**

**MAGISTARSKI RAD**

**Mentor rada:**

**Prof.dr.sc. JOSIP KASUM**

**Magistrand:**

**KREŠIMIR BALJAK, dipl.ing.**

**SPLIT, siječanj 2009.**

## **PODACI O MAGISTARSKOM RADU:**

UDK: 621.391:656.05(035)  
656.6:621.39(035)

Ključne riječi: model, pozicioniranje, diferencijalni signal ispravljanja

Znanstveno/stručno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno/stručno polje: Tehnologija prometa i transport

Institucija u kojoj je rad izrađen: Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu

Mentor rada: Prof.dr.sc. Josip Kasum

Broj stranica: 124

Broj slika: 52

Broj tablica: 11

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 98

Datum obrane: 8.01.2009.

Povjerenstvo:

- dr.sc. Zlatan Kulenović, redoviti profesor (predsjednik)
- dr.sc. Josip Kasum, izvanredni profesor (mentor)
- dr.sc. Danko Kezić, izvanredni profesor (član)
- dr.sc. Toni Bielić, docent (član)

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Knjižnica Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Splitu

Sveučilište u Splitu  
Pomorski fakultet u Splitu  
Poslijediplomski stručni studij pomorskog prometa  
Smjer: Pomorska nautika

Split, 26.11.2008.

Magistrand: Krešimir Baljak, dipl.ing.

Zadatak: Dorinos razvoju modela DGPS-a u Jadranu-E

### SADRŽAJ ZADATKA

- analiza podsustava Svjetskog pozicijskog sustava,
- analiza podsustava Diferencijalnog svjetskog pozicijskog sustava,
- analiza pomorskog prometa na Jadranskom moru,
- utvrđivanje plovidbenih pravaca na Jadranskom moru,
- analiza izbora plovidbenih pravaca na Jadranskom moru i
- razvoj modela uspostave DGPS-a u Jadranu-E.

Zadatak zadan: 28.3.2006.

Rad predan: 26.11.2008

Voditelj poslijediplomskog studija:

Prof.dr.sc. Zlatan Kulenović

Mentor rada:

Prof.dr.sc. Josip Kasum

# SADRŽAJ

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>PREDGOVOR</b> .....                                                            | 1  |
| <b>SAŽETAK</b> .....                                                              | 2  |
| <b>SUMMARY</b> .....                                                              | 3  |
| <b>1. UVOD</b> .....                                                              | 4  |
| 1.1. Definiranje problema istraživanja.....                                       | 4  |
| 1.2. Očekivani doprinos magistarskog rada.....                                    | 5  |
| 1.3. Mogućnost primjene ponuđenog stručnog rješenja postavljenog<br>problema..... | 5  |
| <b>2. SVJETSKI POZICIJSKI SUSTAV</b> .....                                        | 6  |
| 2.1. Sastavnice GPS-a.....                                                        | 6  |
| 2.1.1. Svemirski dio.....                                                         | 6  |
| 2.1.2. Nadzorni dio.....                                                          | 9  |
| 2.1.3. Korisnički dio.....                                                        | 10 |
| 2.2. Pokrivenost signalom.....                                                    | 13 |
| 2.3. Izvori pogrešaka.....                                                        | 14 |
| 2.3.1. Pogreške mjerenja.....                                                     | 14 |
| 2.3.2. Slabljenje geometrijske točnosti.....                                      | 18 |
| 2.4. Određivanje pozicije.....                                                    | 23 |
| 2.5. Točnost GPS-a.....                                                           | 26 |
| <b>3. DIFERENCIJALNI SVJETSKI POZICIJSKI SUSTAV</b> .....                         | 27 |
| 3.1. Sastavnice DGPS-a.....                                                       | 27 |
| 3.1.1. Podsustav referentnih postaja.....                                         | 28 |
| 3.1.2. Nadzorni podsustav.....                                                    | 35 |
| 3.1.3. Korisnički podsustav.....                                                  | 38 |
| 3.2. Prijenos podataka ispravljanja putem radioveza.....                          | 39 |
| 3.2.1. Širenje valova kroz atmosferu.....                                         | 39 |
| 3.2.2. Svojstva različitih frekvencijskih područja.....                           | 40 |
| 3.2.3. Ostale mogućnosti prijenosa podataka ispravljanja.....                     | 43 |
| 3.3. Pogreške u primjeni DGPS-a.....                                              | 43 |
| 3.3.1. Problemi GPS mjerenja.....                                                 | 44 |
| 3.3.2. Odnos HDKS i WGS84 datuma.....                                             | 44 |
| 3.3.3. Undulacija geoida.....                                                     | 45 |
| 3.4. DGPS sustavi u arhipelaškim područjima.....                                  | 46 |
| 3.4.1. Island.....                                                                | 46 |
| 3.4.2. Švedska.....                                                               | 47 |
| 3.4.3. Norveška.....                                                              | 49 |
| <b>4. JADRANSKO MORE</b> .....                                                    | 51 |
| 4.1. Temeljne zemljopisne i hidro-meteorološke značajke Jadranskog mora..         | 51 |
| 4.2. Prometne značajke Jadranskog mora.....                                       | 56 |
| 4.2.1. Promet glavnih luka Jadranskog mora.....                                   | 56 |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.2. Plovidbeni putovi Jadranskog mora.....                               | 62         |
| 4.2.2.1. Uzdužni plovidbeni putovi.....                                     | 64         |
| 4.2.2.2. Poprečni plovidbeni putovi.....                                    | 66         |
| 4.2.2.3. Dužobalni plovidbeni putovi i prilazi hrvatskim lukama.....        | 68         |
| 4.2.2.4. Plovidbeni putovi brodova s opasnim teretom.....                   | 69         |
| 4.2.3. Promet robe i brodova po plovidbenim pravcima.....                   | 73         |
| 4.3. Ekonomsko-političke značajke Jadranskog mora.....                      | 76         |
| 4.3.1. Strategija razvitka prometa Europske unije.....                      | 76         |
| 4.3.2. Republika Hrvatska i NATO.....                                       | 78         |
| 4.4. Raspoloživi sustavi i metode pozicioniranja na Jadranskom moru.....    | 79         |
| 4.5. Raspoloživi sustavi komunikacije i izvješćivanja brodova.....          | 80         |
| 4.6. Sustav usmjeravanja i nadzora plovidbe na Jadranskom moru.....         | 82         |
| <b>5. PRIJEDLOG USPOSTAVE DGPS-a U JADRANSKOM MORU-E.....</b>               | <b>92</b>  |
| 5.1. Opći model DGPS sustava.....                                           | 92         |
| 5.2. Definiranje karakteristika sustava.....                                | 94         |
| 5.2.1. Definiranje prostorne i strukturne konfiguracije sustava.....        | 97         |
| 5.2.2. Definiranje valnog područja za odašiljanje signala ispravljanja..... | 101        |
| 5.3. Model uspostave DGPS-a.....                                            | 102        |
| 5.4. Model uspostave DGPS-a u Jadranskom moru-E.....                        | 104        |
| <b>ZAKLJUČAK.....</b>                                                       | <b>106</b> |
| <b>LITERATURA.....</b>                                                      | <b>109</b> |
| <b>POPIS SLIKA.....</b>                                                     | <b>115</b> |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>                                                   | <b>117</b> |
| <b>KRATICE I OZNAKE.....</b>                                                | <b>118</b> |
| <b>PRILOZI.....</b>                                                         | <b>122</b> |
| <b>Prilog 1. Područja obuhvata DGPS-a na Jadranu-E.....</b>                 | <b>123</b> |
| <b>KRATAK ŽIVOTOPIS.....</b>                                                | <b>124</b> |

## PREDGOVOR

Problem određivanja pozicije broda u različitim morima svijeta riješen je između ostalog uspostavom diferencijalnih sustava pozicioniranja. U odnosu na poziciju dobivenu klasičnim metodama određivanja pozicije (metodama terestričke, astronomske, elektroničke i satelitske navigacije), diferencijalni sustavi pružaju povećanu razinu točnosti. Osim toga, brzina određivanja pozicije drži se iznimno bitnim čimbenikom pri izboru odgovarajućih metoda pozicioniranja. Stoga se primjenom diferencijalnih sustava pozicioniranja ostvaruje brza i točna pozicija, što nedvojbeno pridonosi povećanju stupnja sigurnosti plovidbe.

U svijetu diferencijalni sustavi pozicioniranja uspostavljeni su na svim važnijim plovidbenim pravcima. Pri tome su više zastupljeni na morima otvorenim prema oceanu, nego u zatvorenim i arhipelaškim morima.

Vlastito plovidbeno iskustvo poticaj je istraživanja mogućnosti uspostave diferencijalnog sustava pozicioniranja temeljenog na Svjetskom pozicijskom sustavu (*Global Positioning System – GPS*). Problem pozicioniranja u arhipelaškim morima poput Jadrana mora se pojednostaviti. U tom cilju očekuje se opravdanom uspostava diferencijalnog sustava pozicioniranja na Jadranu-E.

## SAŽETAK

Problem određivanja pozicije plovila na moru poznat je koliko i sama plovidba morem. U počecima plovidbe pozicija plovila određivala se opažanjem, odnosno metodama terestričke navigacije. Opažanjem markantnih objekata na kopnu moglo se približno točno odrediti poziciju plovila na moru. Razvojem navigacijske znanosti i prakse pozicija broda približno se određivala metodama astronomske navigacije, što je dovelo do velikih zemljopisnih otkrića. Daljnjim razvojem navigacijske znanosti i prakse usavršavaju se metode određivanja pozicije broda. Dvadeseto stoljeće donosi značajne pomake u brzini i točnosti određivanja pozicije plovila primjenom metoda elektroničke navigacije, prije svega primjenom radara. Novijim razvojem satelitskih sustava za pozicioniranje povećava se točnost pozicije i smanjuje vrijeme njenog određivanja. Satelitskim sustavima pozicioniranja omogućuje se svjetsko određivanje pozicije korisnika u vrlo kratkom vremenu. Sustavi pozicioniranja temeljeni na satelitskoj navigaciji omogućili su značajan razvoj pomorskog prometa.

Točnost pozicije dobivene različitim metodama određivanja nije jednaka. Tako se npr. pozicija broda u obalnoj navigaciji još uvijek najtočnije određuje metodama terestričke navigacije. Ipak, u određenim hidro-meteorološkim i prometnim uvjetima poziciju broda metodama terestričke navigacije ne može se odrediti sa zadovoljavajućom točnošću. U takvim slučajevima točnost pozicije dobivene postojećim satelitskim sustavima nije dostatna. To nalaže primjenu sustava pozicioniranja povećane točnosti. Povećana točnost pozicije može se ostvariti primjenom razvijene tehnologije odašiljanja diferencijalnog signala ispravljanja.

U tom cilju obavljena su istraživanja izložena u ovom magistarskom radu podijeljenom na pet poglavlja.

Prvim poglavljem (*Uvod*) prikazuju se uvodna razmatranja, definira se problem istraživanja, te se prikazuje očekivani doprinos rada kao i mogućnosti primjene ponuđenog stručnog rješenja postavljenog problema istraživanja.

U drugom poglavlju (*Svjetski pozicijski sustav*) obrađuju se sastavnice GPS-a, pokrivenost signalom, izvori pogrešaka, načelo određivanja pozicije te točnost sustava.

Trećim poglavljem (*Diferencijalni svjetski pozicijski sustav*) obrađuju se sastavnice Diferencijalnog svjetskog pozicijskog sustava (*Differential Global Positioning System – DGPS*), prijenos podataka ispravljanja radiovezama, pogreške u primjeni, te se uspoređuju različiti DGPS sustavi u svijetu. U tom cilju provedena su istraživanja modela uspostave DGPS-a u Islandu, Švedskoj i Norveškoj.

U četvrtom poglavlju (*Jadransko more*) obrađuju se temeljni zemljopisni, hidrometeorološki, prometni, i ekonomsko-politički čimbenici Jadranskog mora. Provedena su istraživanja prometne čestine po pojedinim plovidbenim pravcima, raspoloživosti sustava i metoda pozicioniranja, sustava izvješćivanja i komunikacija, te sustava usmjeravanja i nadzora plovidbe na Jadranskom moru.

Peto poglavlje (*Prijedlog uspostave DGPS-a na Jadranu-E*) pruža doprinos uspostavi DGPS-a na Jadranu-E. Obrađuju se mogućnosti uspostave DGPS-a na Jadranu-E. Utvrđuje se opći model DGPS-a, karakteristike sustava DGPS-a, prostorna i strukturna konfiguracija sustava, valno područje namijenjeno odašiljanju signala ispravljanja, model uspostave DGPS-a, te model uspostave DGPS-a na Jadranu-E. U tom cilju razvijeni su algoritmi utvrđivanja težinskih koeficijenata, odlučivanja o uspostavi DGPS-a i uspostave DGPS-a na Jadranu-E.

U zaključku sažeto se po poglavljima prikazuju rezultati istraživanja. Ukazuje se na primjenjivost rezultata, te se predlažu daljnja istraživanja.

## SUMMARY

Position determination problem is introduced with the history of navigation. In the beginnings of navigation, position was determined visual, by methods of terrestrial navigation. Approximatley position could be determined by visual observation of distinguished landmarks. Further development of navigation science brings position determination by celestial navigation methods. With further development of navigational science and practice position determination methods are evolving. Twentieth century brings significant progress in speed and precision of position determination by using of electronical navigation methods, i.g. radars. Latest development of satellite navigation systems improves position determination. Global position determination in short time is enabled with satellite positioning systems. They enable significant development of global maritime traffic.

The precision of position determination is not the same for various methods used. Because of that, for instance, position determination of ships in the line of sight is still greatest when classical terrestrial methods are used. However, in some hydro-meteorological and traffic circumstances, position of ship can not be determined with adequate precision. Also, in that circumstances position obtained with existing satellite positioning systems is not reliable. That brings request for a new system with significantly greater precision. Greater precision can be obtained by use of developed technology of differential correction signal transmission.

In that direction there is conducted a research in this essay, which is divided into five chapters.

First chapter (*Introduction*) shows preliminary considerations about problem of research, expected contribution of research and possibility of implementation of that results.

In second chapter (*Global Positioning System*) there are elaborated subsystems of GPS, signal coverage, errors, position determination principle and position precision.

Third chapter (*Differential Global Position System*) elaborates subsystems of DGPS, transmission of correction signals by radiovaves, errors in application, comparative analysis of different DGPS systems in the world. In that direction there is conducted research on models of implementation of some DGPS systems in Iceland, Sweden and Norway.

In fourth chapter (*The Adriatic Sea*) there are elaborated fundamental geographically, hydro-meteorologically, traffic, economically and politically aspects of the Adriatic sea. Research is conducted in traffic density on each traffic lines, aviability of position determination systems, reporting systems, communication systems and traffic separation systems.

Fifth chapter (*Contribution to the development of DGPS in East Adriatic*) is giving contribution to the development of DGPS in East Adriatic. Possibilities of development and implementation of DGPS in the East Adriatic are elaborated in this chapter. Global GPS determination model, characteristics of DGPS, areal and structural configuration, frequency area for correction signal transmission, DGPS implementation model and DGPS implementation model on East Adriatic are developed here. In that direction weight coeficients determination for each traffic line in Adriatic sea, DGPS decision and DGPS decision on Adriatic sea algorithms are developed.

Conclusion chapter brings summarised conclusions from this essay. It shows possibility of results implementation and suggest further reseraches.