

Per-Ole Renlund VSV (Vaktstyrman vuxen), OH6HCQ

Global Navigation Satellite System

Yrkesinstitutet Sydväst sjöfart

1. INTRODUKTION.....	3
2. HISTORIA OM GPS.....	3
3. SATELLITBESKRIVNING	4
4. GLOSNASS	4
5. GALILEO	4
6. POSITIONSBERÄKNINGAR.....	5
7. HUVUDTYPER AV FEL	5
8. SYSTEMATISKA FEL	6
9. KORREGERING AV FEL.....	6
10. EGNOS.....	8
11. BACKUP SYSTEM.....	10
11.1. LORAN-C	10
11.2. CHAYKA.....	10
12. NYA INNOVATIONER.....	11
13. SAMMANFATTNING.....	12
KÄLLFÖRTECKNING	13

1. INTRODUKTION

GNSS (Global Navigation Satellite System) innebär världsomspännande system för bestämning av position, hastighet och tid. Systemet uppfyller på permanent basis möjliga användarkrav på civila tillämpningar.

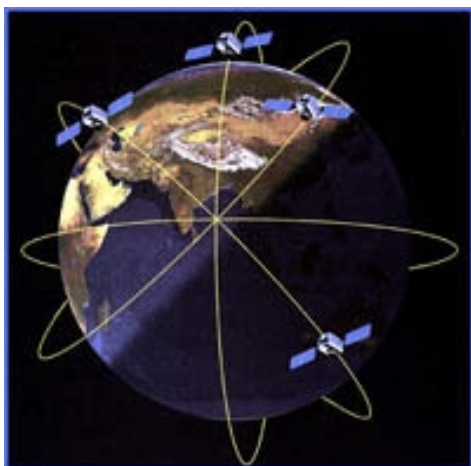
GNSS-1 som existerar idag är den första generationen av GNSS, grundat på amerikanska GPS och ryska GLONASS och skall utbyggas med civila system (såsom EGNOS, WAAS och MSAS).

GNSS-2 kallas den blivande andra generationens system som uppfyller civila användares krav på positions-, hastighets- och tidsbestämning. Det kan fungera som enda navigationshjälpmedel för bestämda ändamål.

GALILEO - Europeiska kommissionen driver utformningen av ett föreslaget europeiskt bidrag till GNSS-2 baserat på ett satellitsystem, helt driftskompatibelt med GPS:s signalstruktur. Det kommer att integreras med utbyggnader och markbundna system för att bilda det transeuropeiska nätet för positionsbestämning och navigation.

2. HISTORIA OM GPS

- ägs och drivs av Amerikanska försvarsmakten
- utvecklingsarbetet startade 1973
- 1978 skickade man upp de 4 första satelliterna
- fram till 1985 hade ytterligare 6 satelliter skickats upp
- mellan 1986-1989 blev det paus i uppskjutningarna på grund av olyckan med rymdfärjan Challenger
- 1993 i december nådde man operationskapacitet
- 1995 i juli förklarades GPS systemet officiellt operativt



Figur 1: Det finns 6 GPS satellitbanor med 3 satelliter i varje

3. SATELLITBESKRIVNING

- Namn: Navstar Global Positioning System
- Storlek: 5,2 meter med solpanelerna utfällda
- Vikt: Cirka 860 kilo
- Höjd: 20200 kilometer
- Frekvens: L1 på 1575,42 -och L2 på 1227,60 Mhz
- Klockor: 4 st atomur
- Omloppstid: 12 timmar för en jordenruntpassage
- Livstid: Beräknad till mellan sju och åtta år
- Energi: Två solcellspaneler och NiCd-batterier
- Antal: Minst 24 satelliter
- Inklination: 55 grader i förhållande till ekvator planet
- Antal banplan: 6 stycken

4. GLOSNASS

Satellitpositioneringssystemet Glonass (Global'naya navigats yonnaya Sputnikovaaya Sistéma) ägs och drivs av Ryssland. Det är i stora drag planerat att fungera på samma sätt som det amerikanska GPS-systemet. På grund av framförallt ekonomiska problem har systemet aldrig haft full konstellation av satelliter i rymden. Idag består systemet av åtta fungerande satelliter, varav två av dessa redan är äldre än den beräknade livslängden. Detta innebär att det räcker inte med att använda detta system som enda positionerings system för att erhålla en position av ett objekt.

Tillsammans med GPS-systemet kan de åtta Glonass-satelliterna dock vid vissa kritiska situationer vara skillnaden mellan att erhålla en position och att inte göra det.

För att göra en 3D positionsbestämning med Glonass mäter man upp radiosignalerna från Glonass satelliterna. Satelliterna sänder två typer av signaler: Standard precision (SP) och hög precision (HP). SP signalen L1=1602 Mhz har många frekvenser + $n \cdot 0.5625 \text{ Mhz}$ där "n" är frekvens kanal nummer ($n=0,1,2,\dots$) och med det menar man att varje satellit sänder på en egen frekvens. (till skillnad från GPS som har två). Vissa satelliter kan ha samma frekvens men då syns de inte över horisonten på samma gång. Framtiden för Glonass är högst oviss. Det har spekulerats en hel del de senaste åren om vad ryssarna själva vill med systemet. Det har talats om att det kan tänkas finnas intresserade medfinansierare i form av att till exempel EU-länderna eller Japan går in och köper hela eller delar av systemet (eller deras rättigheter till berörda frekvenser).

5. GALILEO

Det europeiska arbetet med att bygga upp ett eget GPS har blivit mer konkret i och med europeiskt civilt satellitsystem påbörjats. Systemet har man döpt till Galileo och skall vara

andra generationens GPS och kompatibelt med det amerikanska, men oberoende av, detta. Galileo är öppet för internationellt samarbete och då kanske närmast med det ryska Glasnoss. Utredningsarbete och utveckling drivs av EU och European Space Agency (ESA).

Galileo fick i juli 1999 klartecken genom ett beslut i EUs ministerråd. Enligt nuvarande planer skall systemet bestå av både sk. "Medium Earth Orbit-satelliter" (som i GPS) och geostationära satelliter. EGNOS kommer att integreras i Galileo. En positioneringstjänst som ger bättre än 10 meter horisontell positionsnoggrannhet för allmänt bruk utan kostnad skall tillhandahållas i Galileo. Vidare kommer att finnas en krypterad avgiftsbelagd del som ger 1-2 m i horisontalplanet. De första satelliterna skall skjutas upp 2003 Planerna är att Galileo skall vara operationellt år 2008. Finland och andra nordiska länder arbetar aktivt för att påverka utformningen av Galileo så att det skall få bra täckning och funktion på våra höga latituder

6. POSITIONSBERÄKNINGAR

GPS positioner baseras på referenssystemet WGS 84, Glasnoss på det ryska referenssystemet PZ-90, vilket avviker med max ca 15 m från det i GPS använda. Baserat på en internationell kampanj där man samkört GPS och GLONASS på många olika platser över hela jordytan, har man för officiellt internationellt bruk nu framtagit en godkänd transformationsmodell. Den kan användas med ett transformationsfel av storleksordning endast någon meter. Tidreferensen för Glasnoss baseras på UTC "Moskva", vilket i början av 1999 skiljde sig med mindre än 0.2 μ s från internationell UTC.

Positionsberäkningarna bygger på skärgårdsskepparens navigationskunskaper, där formeln $\text{Distans} = \text{Farten} \times \text{Tiden}$ används. I stället för att fråga hur långt en båt har färdats från en känd position om den har kört med 7 knop i en halvtimme frågar man hur långt en satellits radiosignal kommit från en känd position då den färdats med ljusets hastighet (300 000 km/s) uppmätt antal nanosekunder. (en nanosekund skrivs 0,000000001 sek). Avståndet blir radien i sfären med satelliten i centrum. I skärningspunkten mellan de olika satelliternas sfärer befinner sig navigatören.

Med en satellit får du en ortlinje på jorden.

Med två satelliter får du en andra ortlinje. Detta förutsätter att GPS-mottagarens klocka går absolut rätt. Så är det icke.

Med tre satelliter får du en tredje ortlinje. GPS-mottagaren rättar tidsfelet genom att korrigera de tre ortlinjerna så att de går genom en punkt.

Vi erhåller latitud och longitud. (2D)

Med information från 4 satelliter (3D) får du latitud, longitud och höjd.

Genom att GPS uppdaterar positionen en gång i sekunden kan den beräkna vår fart, medelhastighet, kurs m.m.

7. HUVUDTYPER AV FEL

Alla observationer eller mätningar är behäftade med ett visst fel eller osäkerhet som kan definieras med ett tal och ett sannolikhetsmått. Man skiljer härvid normalt mellan tre huvudtyper av fel:

- Systematiska fel
- Tillfälliga fel
- Grova fel

Systematiska fel kan kartläggas och kompenseras.

Tillfälliga fel är varierande fel och kan inte förutses. Dessa fel kan inte kalibreras bort men effekten av tillfälliga fel kan under vissa förutsättningar reduceras. Grova fel av allvarlig karaktär kan oftast skyllas på den mänskliga faktorn.

Det totala felet utgör vektorsumman av dessa fel.

8. SYSTEMATISKA FEL

- SA US Army:s störcod, den tog Bill Clinton bort 1.5.2000
- Satellit Fel 30–100 meter (DOP = Delution Of Precision) geometri
- Reflexion Från branta berg och höga husväggar (högt DOP värde)
- Refraktionen (vågbrytningsfelet) blir mindre ju större höjdvinkel (elevation), satelliten har. Minst blir det när satelliten är rakt ovanför. Därför väljer satelliten bort för lågt stående satelliter 5° ovanför horisonten. Flygplans GPS kan ta emot lågt stående satelliter.
- Totalfel 1 – 15 meter GPS med 12 kanaler

9. KORREGERING AV FEL

Ur varje registrering på en referensstation med känd position kan i varje ögonblick korrekationer till avstånden mellan mottagarantennen och satelliterna (skenavståndskorrekationer) eller till navigeringspositionen beräknas. Dessa korrekationer kan sedan sändas t ex via radiolänk till GPS mottagaren.

Förfarandet benämns differentiell GPS (DGPS) eller relativ navigering och ger högre noggrannhet än navigering med ensam mottagare, absolut navigering.

Vid DGPS används mätning på någon av satellitsignalens koder

Med fast referensstation avses en station där kontinuerlig registrering av GPS-data utförs av en organisation som sedan distribuerar korrektionsdata för relativ navigering till alla användare inom stationens täckningsområde. Innehållet i korrektionsmeddelandet skall följa en existerande standard.

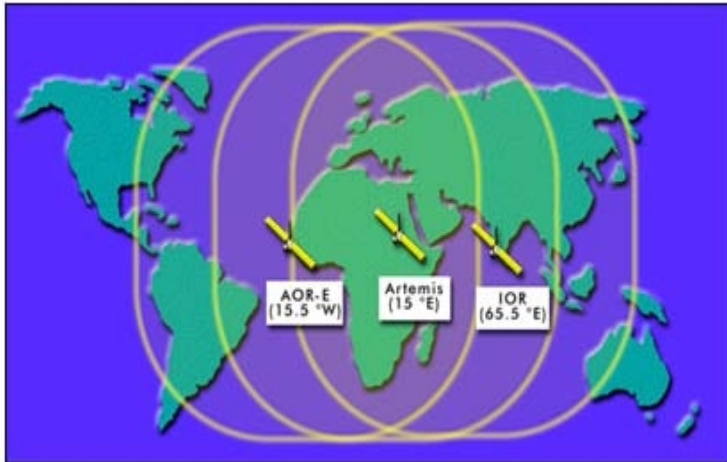
Det finns i detta nu 16 referensstationer på norra Östersjön, och de upprätthålls av Sjöfartsverken i respektive land. Referensstationerna kan utnyttjas gratis av sjöfarare för att få en noggrannare position.



Figur 2: DGPS-täckning på norra Östersjön

Nästa steg i utvecklingen av GPS är korrektioner med sk "Wide Area DGPS (WADGPS)". Samtidiga tvåfrekvensmätningar av skenavstånden och deras ändring samlas in vid ett antal referensstationer tillsammans med meteorologiska data och bearbetas. Man erhåller då noggranna banddata, kalibreringskartor för jonosfär och troposfär och DGPS-korrektioner för utsända banddata och klockfel. Då dessa korrektioner börjar sändas via Inmarsatsatelliterna som är geostationära satelliter ges det också möjligheten att leverera ytterligare en signal för avståndsmätning, vilket ökar GPS-systemets användbarhet för navigering/positionsbestämning.

Täckningen blir kontinental och man använder olika principer för att få noggrannheter kring 1-3 meter.

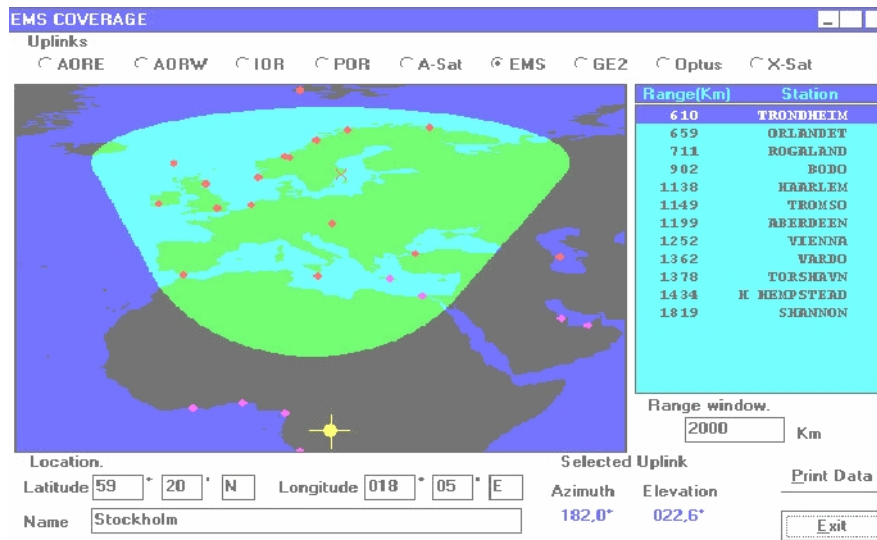


Figur 3: Inmarsat satelliterna kommer att sända ut korrektioner till de mobila GPS mottagarna. GPS mottagarna behöver ingen extra mottagare utan korrektionen kan göras med ett nytt program i GPS mottagaren.

Korrektions programmet kallas olika i olika delar av världen

- Europeiska EGNOS
- Amerikanska WAAS
- Japanernas MSAS

10. EGNOS



Figur 4: Täckningsområde för Egnos och tillhörande referensstationer

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) är nu beslutat av EU och planeras vara i drift från ca år 2003. Systemet utgör en kombination av GPS, GLONASS och transpondrar på den nyaste generationen INMARSAT 3 (totalt 4 geostationära satelliter). Transpondrarna fungerar som fyra extra GPS-satelliter, de förmedlar såväl integritetsdata som differentiella "Wide Area" korrektioner för såväl GPS som GLONASS. "Wide-Area"

innebär användning av sådan teknik att korrektionerna blir giltiga över mycket stora områden i Europa.

EGNOS kan karakteriseras som stödsystem till GPS och GLONASS i avsikt att för civila brukare förbättra noggrannheten, integriteten, kontinuiteten, tillgängligheten och säkerheten. Den förväntade användargruppen är "multimodal", dvs systemet är av intresse för såväl land-, sjö- som flygtillämpningar.

Genom kontinuerlig överföring av differentiella korrektioner förväntas noggrannheten i vertikalled bli 7-10 m för GPS och 4-6 m för GPS + GLONASS.

Informationen från GNSS 1 skall vara i WGS 84.

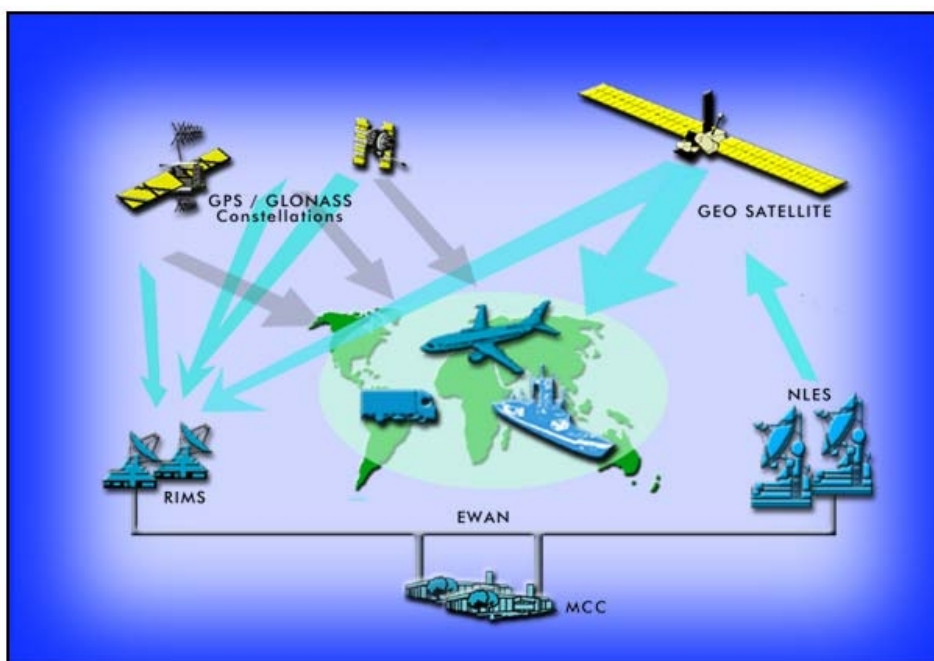
Förberedelser för att introducera GNSS 1 pågår för fullt både globalt inom ICAO och regionalt i Europa, USA och Japan. För att säkerställa integritets- och tillgänglighetskraven baseras systemen enligt vad som framgått ovan på användning av kommunikationssatelliter som extrasatelliter. Motsvarigheten till EGNOS kallas i USA för WAAS (Wide Area Augmentation System) och i Japan för MSAS (Multifunction transport Satellite based Augmentation System).

Milstolparna för utvecklingen av EGNOS är grovt sett följande:

AOC (Advanced Operational Capability) skall ha uppnåtts år 2003

FOC (Full Operational Capability) skall ha uppnåtts år 2005.

Målet är att ha full kompatibilitet mellan GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS och MSAS. Det vill säga samma mottagarutrustning skall kunna användas i samtliga fall.



Figur 5: System beskrivning av Egnos systemet

11. BACKUP SYSTEM

11.1. LORAN-C

Som reserv och "back-up" för GPS har USA beslutat att tills vidare fortsätta driften av sina 12 Loran-C kedjor, som täcker såväl samtliga kustområden som kontinentala USA och delar av Kanada. I Europa har utbyggnad skett inom ramen för organisationen NELS och samordning mellan Loran-C och ryska Chayka pågår för att få ett gemensamt markbundet navigeringssystem för hela Europa.

På uppdrag av EU har utvecklats ett system EUROFIX, som utgör en datalänk för överföring av differentiella GPS-korrekationer som modulation på Loran-C signalen. I systemet kommer integrerade mottagare för Loran-C och DGPS att användas, vilket ger många fördelar. Med hjälp av noggrann DGPS kan vågutbredningen i Loran-C beräknas och kalibreras.

Vid bortfall av GPS i skogar, dalgångar, i stadsmiljö etc kan då navigering ske med ett betydligt noggrannare Loran-C än som annars skulle varit fallet. Enligt praktiska prov kan noggrannhet av storleksordning 3-25 m påräknas. Via Loran-C kan DGPS-korrekationer distribueras över hela Europa inom avstånd av upp till 1000 km eller mer från respektive sändare. Tillgången på moderna mottagare är för närvarande låg, vilket begränsar användning av Loran-C.

Ett program som stimulerar europeisk industri att utveckla mottagare för Loran-C, Loran-C i kombination med EUROFIX samt integrerad Loran-C, EUROFIX och DGPS har initierats inom ramen för EU för att råda bot på denna brist. Nya Loran-C mottagare kan användas även för Chayka. Den samlade bilden rörande det framtida behov av Loran-C som komplement eller back-up till GNSS är dock mycket splittrad med hänsyn till den mycket snabba utvecklingen inom satellitnavigeringsområdet.

Den framtida användningen och utvecklingen av Loran-C beror sannolikt helt på det beslut som kommer att fattas av EU-kommissionen i den utredning om Loran:s framtid som nu pågår. Innan dylikt beslut har fattats får vi tills vidare anse det troligt att Loran-C i kombination med EUROFIX kommer att vara i drift till åtminstone år 2010

11.2. CHAYKA

Den ryska motsvarigheten till Loran-C heter Chayka (Måsen). Systemet är i det närmaste identiskt med det västerländska. Tre ryska kedjor finns och som täcker europeiska Ryssland, området norr om Kolahalvön och Novaja Zemblja samt ryska Stilla Havskusten i öster. Varje kedja består av 3-5 stationer. Totalt ingår 12 sändare i det ryska systemet.

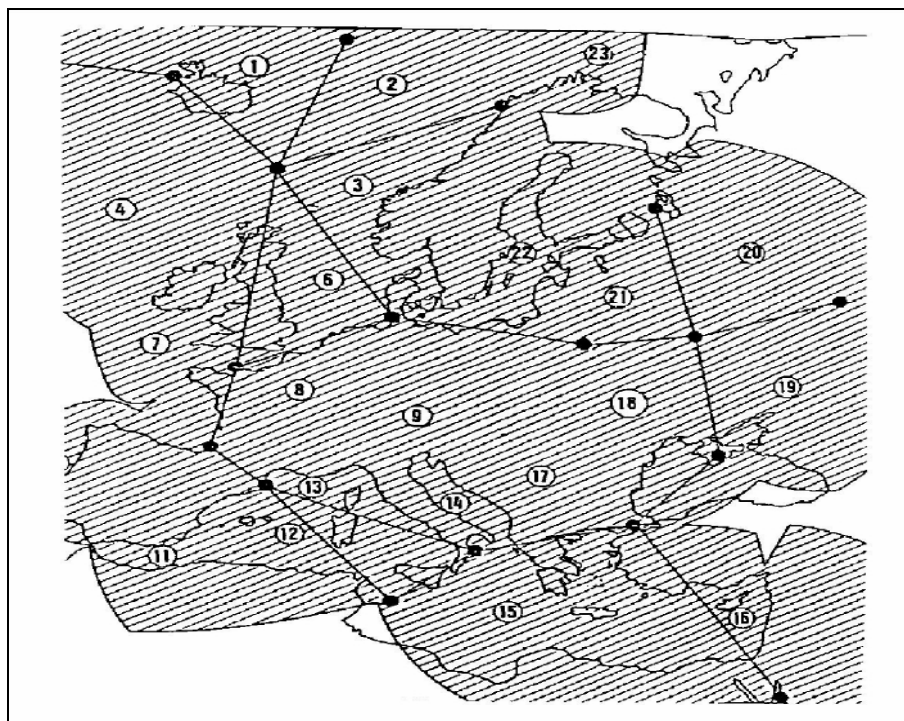
Mest känd i Finland är den europeiska kedjan med mittstation (Master) vid Karachevo nära Moskva medan slavstationerna är belägna vid Petrozavodsk (norr om Ladoga), Slonim (nära polska gränsen), Simferopol (på Krim) samt Syzran (i Ural norr om Kaspiska havet)

Internationellt samarbete pågår rörande bruk av Chayka och Loran-C och de ryska systemen är helt öppna för civilt bruk i väst. Moderna Loran-C mottagare kan utnyttja båda systemen parallellt eller i kombination med varandra. I samverkan med Norge planeras gemensamt bruk av ryska nordkedjan och den nordligaste norska kedjan, vilket avsevärt förbättrar täckningen i farvattnen norr och nordväst om Kolahalvön.

Även nordligaste delen av Bottenviken och Lappland kommer att täckas av denna kombinerade kedja. Genom att kombinera Chayka med såväl Nordvästeuropeiska som Medelhavskedjan fås i det närmaste full täckning av Europa med omgivande vatten. Liknande samverkan

äger rum mellan Ryssland, USA och Japan till gagn för Loran-C täckningen i farvattnen mellan Ryssland, USA, Japan och Korea. Modernisering av de ryska stationerna började 1999 och kommer att pågå under 3-4 år. Kedjorna avses sedan kunna hållas i operativ drift under de närmaste 10-15 åren.

I samband med moderniseringen pågår prov med införande av datalänk typ EUROFIX även i de ryska kedjorna. Korrektioner för såväl differentiell GPS som differentiell GLONASS kommer att överföras med den nya länken. Enligt nuvarande planer kommer ryska Chayka utökad med datalänk typ EUROFIX att finnas kvar tillsammans med Loran-C som markbaserat komplement till GPS och GLONASS.



Figur 6: Exempel på täckning vid kombinerat bruk av Loran-C och Chayka . Nordväst-europeiska Loran-C kedjan är numera kompletterad med tre nya sändare medan stationen på Island är nedlagd

12. NYA INNOVATIONER

Furuno har kommit ut med en ny GPS kompasslösning .(det finns säkert andra tillverkare) En kompass baserad på tre GPS-antennor där mätning av faslägesskillnader gör det möjligt att med stor precision erhålla "Heading" (stävriktning).

Man får "på köpet" en trim-mätare som mäter fartygets trim med mycket hög noggrannhet Fördelen är möjligheten att spara bunker samt förenkla lastning och stabilitetskontrollen Det fodras två antenner för att få en kursangivelse och den tredje antennen motverkar stampningar, rullningar och krängningar , det gör att GPS kompassen håller en stabil kurs oberoende av fartygets uppförande.

Det fodras en mottagning av fem satelliter för att kursen skall hållas. GPS mottagaren kan utrustas med differering. Den har dessutom en inbyggd kursfunktion så att den kan hålla kursen fastän den tappar kontakt med satelliterna.

- Den har fyra utgångar så att den kan kopplas till tex ARPA, Autopilot och ECDIS
- Kursnoggrannheten är $\pm 0,5^\circ - \pm 0,8^\circ$
- Startar upp på fyra minuter
- Snabb kursuppföljning med $25^\circ/s$
- Priset i detta nu halva priset av en Gyrokompass och inga underhållskostnader

13. SAMMANFATTNING

Sjöfarten inriktar sig på att utnyttja de satellitbaserade navigeringssystem som finns tillförhållande och som uppfyller av IMO ställda krav på funktion och tillgänglighet, dock utan integritetskontroll. Såväl internationellt som nationellt avser man att tillhandahålla DGPS för navigering, farledsutmärkning, sjömätning, offshoreverksamhet, fiske m m. GPS-systemet är idag helt dominerande och GLONASS betraktas för närvarande inte som ett användbart alternativ

Arbetet med att förmedla korrektion med kommunikations satelliter pågår för fullt. Milstolparna för utvecklingen av EGNOS är grovt sett följande: AOC (Advanced Operational Capability) skall ha uppnåtts år 2003 FOC (Full Operational Capability) skall ha uppnåtts år 2005. Målet är att ha full kompatibilitet mellan GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS och MSAS. Det vill säga samma mottagarutrustning skall kunna användas i samtliga fall.

På längre sikt förväntas också det av EU påbörjade projektet Galileo få stor betydelse för sjöfarten. Sjöfartsverket arbetar, tillsammans med andra europeiska maritima myndigheter, för att systemet skall få egenskaper som motsvarar sjöfartens behov.

En ny kommande tillämpning för GPS är AIS (Automatic Identification System). Med dethär systemet får man en tillräcklig noggrann positionsbestämning, så att man kan förmedla sin position, kurs, fart och andra data till andra fartyg i närheten eller till land via VHF.

Uppgifterna kommer elektroniskt in på radarskärmmarna/digitala sjökortet. Sjöfartsländerna arbetar nu vidare med att få ett krav på användning av AIS enligt den nu internationellt accepterade standarden införd i SOLAS (IMO's regelsamling). Ett sådant krav kan förväntas för kommersiell trafik tidigast 1 juli år 2002.

Ett liknande krav har föreslagits av IMO Subcommitte on Safety of Navigation och förväntas bli accepterat av IMO Maritime Safety Committe under 2001 med ett ikraftträdande 1 juli 2002 för nya fartyg och en 5-årig infasningsperiod för äldre fartyg.

KÄLLFÖRTECKNING

Magnus Lindén Handbok i GPS 1999 isbn 91973537 2 8

COSPAS/SARSAT <http://www.sarsat.noaa.gov>

ECDIS <http://www.openecdis.org/>

EUROFIX <http://www.eurofix.tudelft.nl/>

FUGRO Seastar <http://www.seastar.co.uk/>

GLONASS hemsida <http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>

GPS <http://navcen.uscg.mil>

INMARSAT <http://www.inmarsat.com/>

LORAN-C <http://www.megapulse.com>

NELS <http://www.nels.org/>

Sjöfartsverket <http://www.fma.fi/svenska/index.html>

Sjöfartsverket <http://www.sjofartsverket.se>

Transponder (GP&C) <http://www.gpc.se/>

Garmin <http://garmin.com/marine/index.html>

Furuno <http://www.furuno.com/nav/nav.html>

Furuno kompass <http://www.furuno.co.jp/english/pdf/SC60.pdf>

LMV-rapport 2001:10 <http://swepos.lmv.lm.se/files/dgps.pdf>