Norvald Kjerstad

# ELEKTRONISKE OG AKUSTISKE NAVIGASJONSSYSTEMER

## for maritime studier




Ny utgave med øvingsoppgaver og løsningsforslag

6. utgave

FAGBOKFORLAGET

Norvald Kjerstad

# ELEKTRONISKE OG AKUSTISKE NAVIGASJONSSYSTEMER

for maritime studier

Norvald Kjerstad

# ELEKTRONISKE OG AKUSTISKE NAVIGASJONSSYSTEMER

for maritime studier

6. utgave

FAGBOKFORLAGET

Copyright © 2019 by
Vigmostad & Bjørke AS
All Rights Reserved

1. utgave 2002
2. utgave 2005
3. utgave 2008
4. utgave 2010
5. utgave 2015
6. utgave 2019 / 1. opplag 2019

ISBN: 978-82-450-3332-8
ISBN (trykt): 978-82-450-2552-1

Tilrettelagt for e-bok: John Grieg, Bergen
Sats: Forfatteren
Forsidedesign ved forfatteren og forlaget
Forsideillustrasjon: Ulstein Bridge Vision (med tillatelse fra Ulstein Group ASA)

Supplement for faglærere:
CD med alle figurer i Power Point-format
Kontakt forlaget eller forfatteren for fri tilsendelse

Spørsmål om denne boken kan rettes til:
Fagbokforlaget
Kanalveien 51
5068 Bergen
Tlf.: 55 38 88 00 Faks: 55 38 88 01
e-post: fagbokforlaget@fagbokforlaget.no
www.fagbokforlaget.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.
Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarfremstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

# Innhold

Side:

**Forord** **xii**

**DEL 1 – RADIONAVIGASJONSSYSTEMER 1-1**

1 GEODETISK GRUNNLAG OG TID 1-1
1.1 Jordens form 1-1
1.2 Koordinatsystemer og datum 1-3
1.2.1 UTM-systemet 1-5
1.2.2 Lokale metriske koordinatsystem 1-8
1.2.3 Geodetisk datum 1-9
1.2.4 Transformasjon mellom datum 1-11
1.2.5 Høydereferanse 1-12
1.3 Tidsstandarder og atomur 1-13
1.4 Oppgaver fra kapittel 1 1-17

2 NØYAKTIGHET OG ELEKTROTEKNISK GRUNNLAG 1-18
2.1 Nøyaktighet 1-18
2.1.1 Allmenne feilberegninger og nøyaktighetsdefinisjoner 1-18
2.1.2 Stedlinjer og geometri 1-19
2.1.3 Feilparallellogram 1-19
2.1.4 Feiltrekant og polygon 1-19
2.1.5 Vektfaktorer 1-21
2.1.6 Feilellipsen 1-22
2.1.7 Geometriske feilfigurer (DOP) 1-24
2.1.8 Flerveisfix 1-27
2.1.9 Andre kvalitetsbegrep 1-27
2.2 Elektro- og radiotekniske grunnbegreper 1-29
2.2.1 Frekvensrelasjoner og radiobølgespektrum 1-29
2.2.2 Båndbredde 1-30
2.2.3 Signalutbredelse og enheten desibel 1-31
2.2.4 Overføring av informasjon og modulasjon 1-34
2.3 Oppgaver fra kapittel 2 1-36

3 SATELLITTBASERTE SYSTEMER 1-37
3.1 Historie og bakgrunn 1-37
3.2 Satellittbaner og geometri 1-39
3.2.1 Koordinatsystem 1-39
3.2.2 Keplers lover 1-40
3.2.3 Baneforstyrrelser 1-41
3.2.4 Polare baner (LEO) 1-41
3.2.5 Geostasjonære baner (GSO / GEO) 1-42
3.2.6 Andre sirkulære baner (MEO / ICO) 1-44
3.2.7 Elliptiske baner (HEO) 1-44
3.2.8 Geosynkrone baner (GSO / IGSO) 1-45
3.3 Prinsipper for satellitt navigasjon 1-47
3.3.1 Doppler målinger 1-47
3.3.2 Tidsmåling / Avstandsmåling (Pseudorange / Trilaterasjon) 1-49
3.3.3 Andre metoder 1-50
3.4 Feilkilder i satellittnavigasjon 1-50
3.4.1 Satellittbaner 1-50
3.4.2 Transmisjonsforhold 1-50

3.4.3 Ionosfæren og troposfæren 1-50
3.4.4 Geometriske forhold (DOP) 1-54
3.4.5 Refleksjonsproblemer (multipath) 1-56
3.4.6 Andre feilkilder og jamming 1-57
3.4.7 Andre mottagerproblemer 1-60
3.5 GPS - en detaljert beskrivelse 1-61
3.5.1 System 1-62
3.5.2 Signalbeskrivelse og koding 1-64
3.5.3 Mottagere og antenner 1-66
3.5.4 Stedsbestemming 1-71
3.5.5 Nøyaktighet på GPS 1-73
3.5.6 Noen kjente avvik på ytelse 1-76
3.6 Andre operative satellitt systemer 1-78
3.6.1 GLONASS 1-78
3.6.2 Galileo 1-80
3.6.3 BeiDou (tidl. Compass) 1-82
3.6.4 IRNSS / GAGAN 1-84
3.6.5 QZSS 1-84
3.6.6 Utvikling og fremtidige systemer 1-84
3.7 Differensielle systemer 1-85
3.7.1 IALA-systemet 1-85
3.7.2 SATREF 1-90
3.7.3 Wide Area systemer (WADGPS / SBAS) 1-93
3.7.4 Eurofix / eLoran 1-97
3.7.5 Internett distribusjon 1-97
3.7.6 DGNSS fra kommersielle selskaper 1-97
3.7.7 Local Area Systemer (LADGPS) 1-100

3.8 Fasemåling for presisjonsposisjonering og landmåling (RTK) 1-101
3.8.1 Statiske målinger for etterprosessering 1-102
3.8.2 RTK - kinematisk fasemåling i sann tid 1-102
3.8.3 Beskrivelse av Topcon RTK-system 1-103
3.8.4 Andre støtteteknikker 1-103
3.9 Navigasjon med GNSS 1-104
3.9.1 Metoder, ruteplanlegging / Waypoint navigasjon 1-104
3.9.2 En mottager - optimalisering og gjennomgang 1-106
3.9.3 «High-end» mottager – DPS-232 1-111
3.9.4 Sjekkliste for sikker navigasjon – kvalitetssikring 1-112
3.9.5 Optimalisering av nøyaktighet og integritet (inkl. RAIM) 1-116
3.9.6 Konsekvenser av feil - beskrivelse av noen ulykker 1-118
3.10 Installasjon og vedlikehold 1-118
3.11 Satellittbasert stillingssensor (kompass og VRU) 1-121
3.12 Spesielle bruksområder for GNSS-baserte systemer 1-124
3.12.1 Kartlegging 1-124
3.12.2 Relativ GPS (DARPS) 1-126
3.12.3 Bølge- og tidevannsmåling med GNSS 1-127
3.12.4 Meteorologiske og vitenskapelige anvendelser 1-128
3.13 Pseudolitter 1-128
3.14 Fremtid for satellittbaserte systemer 1-129
3.15 Oppgaver fra kapittel 3 1-130

4 LANDBASERTE SYSTEMER (LORAN / Chayka) 1-133
4.1 Historie og bakgrunn 1-133
4.2 Dekning 1-134
4.3 Måleprinsipp og signal 1-136
4.4 Hyperbolske stedlinjer og koordinatsystem 1-139
4.5 Bølgeutbredelse og støyproblematikk 1-143

4.5.1 Rombølge og jordbølge 1-143
4.5.2 Korreksjon på grunn av rombølge 1-144
4.5.3 Jordbølgeutbredelse 1-145
4.5.4 Interferens 1-147
4.5.5 Notch filter 1-148
4.5.6 Annen støy 1-149
4.6 Mottagere 1-149
4.6.1 Antenne og installasjon 1-150
4.6.2 En mottagere - optimalisering og gjennomgang 1-151
4.6.3 Sjekkliste for sikker navigasjon med Loran-C mottageren 1-154
4.7 Nøyaktighet og rekkevidde 1-154
4.7.1 Rekkevidde 1-154
4.7.2 Nøyaktighet 1-155
4.7.3 Geometrisk degradering (GDOP) 1-156
4.8 Spesielle Loran systemer 1-157
4.8.1 Differensiell Loran-C 1-157
4.8.2 Loran-C med sirkulære stedlinjer (R/R) 1-158
4.8.3 Puls-8 og Mini Loran 1-158
4.8.4 Loran-D 1-158
4.8.5 eLoran – fremtidens Loran? 1-158
4.9 Loran-C stasjoner og sendere 1-161
4.10 Fremtidsutsikter 1-162
4.11 Oppgaver fra kapittel 4 1-164

5 KORTDISTANSE POSISJONERINGSSYSTEMER 1-165
5.1 Mikrobølgesystemer 1-166
5.1.1 Artemis 1-167
5.1.2 RADius 1-169
5.1.3 RadaScan / mini RadaScan 1-171
5.1.4 Kongsberg XPR 1-172
5.2 LASER systemer 1-172
5.2.1 MDL FanBeam 1-173
5.2.2 CyScan 1-174
5.2.3 SpotTrack 1-175
5.3 Oppgaver fra kapittel 5 1-176

6 ANDRE OG UTDATERTE SYSTEMER 1-177
6.1 Decca 1-177
6.2 Omega 1-178
6.3 Radiopeilere og Consol 1-178
6.4 Mars-75 1-179
6.5 Flynavigasjonssystemer 1-180

7 INTEGRERTE SYSTEMER 1-182
7.1 Integrering og Kalman filtrering 1-182
7.1.1 Feiltreanalyse 1-185
7.2 NMEA-telegrammer 1-186
7.2.1 Testing av port og simulering av NMEA 1-188
7.2.2 Oppsett av kartmaskin 1-189
7.3 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) og broutforming 1-190
7.4 Systemer for kvalitetskontroll (QC) og web-grensesnitt 1-192
7.5 Oppgaver fra kapittel 7 1-193

8 KRAV TIL ELEKTRONISKE NAVIGASJONSINSTRUMENTER 1-195

9 SYMBOL OG FORKORTELSER – Del 1 1-197

10 LITTERATUR OG REFERANSELISTE – Del 1 1-202

11 LØSNINGSFORSLAG TIL ØVINGSOPPGAVER 1-204

**DEL 2 – RADAR OG KARTSYSTEMER 2-1**

1 RADAR GRUNNLAG 2-1
- 1.1 Historikk 2-1
- 1.2 Radarprinsippet 2-3
- 1.3 Viktige begreper 2-5
- 1.4 Radartverrsnitt og målstyrke 2-9
- 1.5 Deteksjonssannsynlighet og antennerotasjon 2-11
- 1.6 Støyforhold 2-13
- 1.7 Ekko fra sjø og regn (clutter) 2-13
- 1.8 Radarens rekkevidde - Radarligningen 2-15
- 1.9 Spesielle utbredelsesforhold, refraksjon og demping 2-16
- 1.10 Antenne (scanner) – strålingskarakterestikk 2-17
- 1.11 Falske ekko og interferens 2-22
- 1.12 Krav til ytelse og utrustning (IMO) 2-25
- 1.13 Oppgaver fra kapittel 1 2-25

2 MARITIM RADAR (pulsradar) 2-29
- 2.1 Blokkskjema, oppbygning og signalgang 2-29
- 2.2 Senderen 2-29
  - 2.2.1 Triggerkretsen 2-29
  - 2.2.2 Modulatoren 2-30
  - 2.2.3 Magnetron (senderøret) 2-30
- 2.3 Bølgeleder (waveguide) og koaksialkabel 2-31
- 2.4 Antenneenhet 2-32
- 2.5 Mottageren 2-34
- 2.6 Display 2-39
- 2.7 3-cm eller 10-cm, hva er best? 2-40
- 2.8 Interfacing og perifert utstyr 2-40
- 2.9 Et eksempel – Furuno 2117/2817 2-42
- 2.10 Et eksempel – Maris PC Radar 2-46
- 2.11 Kontroll og feilsøking 2-47
- 2.12 Forskjellige feil 2-48
- 2.13 Vedlikehold 2-52
- 2.14 Strålefare 2-53
- 2.15 Ny teknologi – uten magnetron 2-55
  - 2.15.1 Solid state sender (ikke magnetron) 2-56
  - 2.15.2 CW- / Bredbåndradar 2-57
- 2.16 Oppgaver fra kapittel 2 2-59

3 BRUK AV RADAR I NAVIGASJON OG PLANLEGGING AV SEILAS 2-61
- 3.1 Hovedkontroller 2-61
- 3.2 Funksjoner for støyreduksjon 2-64
- 3.3 Hjelpefunksjoner og syntetiske linjer 2-65
- 3.4 Testing av avstandsmålingen og tilkoblede instrumenter 2-67
- 3.5 Presentasjonsmodus og bildestabilisering 2-68
- 3.6 Performance monitor (PM) 2-69
- 3.7 Prosedyre for oppstart og stopp 2-70
- 3.8 Generell navigasjon med radar 2-70
- 3.9 Parallell indeksering (PI) 2-73
- 3.10 Radarnavigasjon med konstant svingeradius (ROT) 2-74
- 3.11 Radarnavigering i isfarvann 2-78
- 3.12 Radar som posisjonssensor i ECDIS 2-85

3.13 Utviklingen av radarer – en kritisk betraktning 2-86
3.14 Oppgaver fra kapittel 3 2-88

4 RADARPLOTTING OG ARPA 2-89
4.1 Manuell relativ plotting 2-89
4.2 Automatisk plotting – ARPA 2-91
4.3 Teknisk oppbygging av ARPA-systemet 2-93
4.4 Innstillinger som har betydning for plotting 2-95
4.5 Feilkilder i ARPA-systemet 2-96
4.6 Operasjon av ARPA 2-100
4.7 Alternativ presentasjon av kollisjonsfare 2-106
4.8 Plotting av strøm 2-108
4.9 Innganger (Input-data) 2-108
4.10 Utganger (Output-data) 2-109
4.11 Hva sier sjøveisreglene om radar? 2-110
4.12 En typisk radarkollisjon – voksende sving 2-110
4.13 Hva skal man kunne i henhold til STCW-konvensjonen? 2-112
4.14 Søk og redning med radar 2-112
4.15 SART (Search And Rescue Radar Transponder) 2-113
4.16 Etablering av «jaktkurs» 2-114
4.17 Radarsøk etter lite mål (bøye, e.l.) 2-115
4.18 Oppgaver fra kapittel 4 2-116

5 ANDRE RADARSYSTEMER 2-118
5.1 CW, FM og FD-radar 2-118
5.2 SAR radar 2-118
5.3 MTI-radar 2-119
5.4 Høyytelse-skipsradar 2-119
5.5 Array radar / gruppeantenne 2-120
5.6 LIDAR («Laser radar») 2-121
5.7 Radar til bølgemåling 2-121
5.8 RACON og radarreflektorer 2-123
5.9 VTS-systemer (Vessel Traffic Services) og overvåkning 2-127
5.10 Værradar 2-132
5.11 Oppgaver fra kapittel 5 2-132

6 AIS – AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM 2-133
6.1 AIS – prinsipp og virkemåte 2-133
6.2 Bruk av AIS-utstyr 2-138
6.2.1 Fallgruver 2-141
6.2.2 Sammenligning med radar 2-142
6.2.3 AIS som kommunikasjonssystem 2-142
6.2.4 AIS og losen 2-144
6.2.5 AIS-SART 2-144
6.2.6 Satellittbaserte AIS-systemer 2-144
6.3 LRIT – langdistanseovervåkning 2-146
6.4 Ship Security Alert System (SSAS) 2-146
6.5 Oppgaver fra kapittel 6 2-147

7 KARTGRUNNLAG OG FORMATER 2-149
7.1 Historikk 2-149
7.2 Hva er et elektronisk sjøkartsystem? 2-151
7.3 Internasjonale standarder og krav 2-151
7.4 Elektroniske kart og klassifikasjonsselskapene 2-152
7.5 Vektorkartet (S-57) 2-153
7.6 Rasterkart 2-156
7.7 Andre formater 2-157

7.8 Oppdatering og retting 2-158
7.9 Kartenes nøyaktighet 2-161
7.10 Kartdekning og fremtid 2-166
7.11 Oppgaver fra kapittel 7 2-167

8 KARTMASKINER 2-168
8.1 Backup system og spenningsforsyning 2-168
8.2 ECDIS standard 2-168
8.3 Tilkoplede instrumenter 2-169
8.4 Voyage Data Recorder (VDR) 2-169
8.5 Tilleggsfunksjonalitet 2-169
8.5.1 Generering av egen database (Crowdsourcing) 2-171
8.6 ECS (Electronic Chart System) 2-173
8.7 Nøyaktighet 2-174
8.8 Oppgaver fra kapittel 8 2-174

9 NAVIGASJON MED ELEKTRONISKE KART 2-175
9.1 Display 2-175
9.2 Kartinformasjon etc. 2-175
9.3 Kartarbeid / bestikk 2-177
9.4 Ruteplanlegging 2-180
9.4.1 Grunnstøtingsalarm 2-183
9.5 Data fra / til tilkoplede instrumenter 2-184
9.5.1 Posisjonssensor / GPS etc. 2-184
9.5.2 Kompass / Gyro 2-185
9.5.3 Radar / ARPA 2-186
9.5.4 Ekkolodd 2-187
9.5.5 Kommunikasjon og meteorologiske data 2-188
9.5.6 Autopilot / Trackpilot 2-188
9.5.7 AIS-informasjon 2-189
9.6 Loggføring / datalagring 2-190
9.7 Editering 2-191
9.8 Mulige fallgruver 2-191
9.8.1 Datum- og kartproblemet 2-191
9.8.2 Tillitsproblemet 2-192
9.8.3 Trafikkproblemet 2-194
9.8.4 Vikemanøverproblemet 2-194
9.8.5 Standardiseringsproblemet 2-195
9.8.6 Zoom problemet 2-196
9.8.7 Grunnstøtingsalarmen svikter 2-196
9.8.8 Banestyringsproblemet 2-198
9.8.9 AIS-problemet 2-198
9.8.10 Automatisk genererte ruter 2-200
9.8.11 Lisensproblemet 2-200
9.8.12 Kartproblemet 2-200
9.8.13 Sikker fart 2-200
9.8.14 Docking display 2-200
9.9 Noen grunnstøtinger 2-201
9.9.1 Forliset av M/V *Rocknes* 2-201
9.9.2 Grunnstøting med hurtigruteskipet *Nordkapp* i Antarktis 2-202
9.9.3 Grunnstøting med *CFL Performer* 2-204
9.9.4 Forliset av cruiseskipet *Costa Concordia* 2-204
9.9.5 Forliset av tråleren Gudrun Gisladottir 2-205
9.10 Kartsystem for kontoret 2-205
9.11 Oppgaver fra kapittel 9 2-207

10 SYMBOL OG FORKORTELSER - Del 2 2-209

11 LITTERATUR OG REFERANSELISTE - Del 2 2-214

12 LØSNINGSFORSLAG TIL ØVINGSOPPGAVER 2-216

**DEL 3 – KOMPASS OG STYRESYSTEMER 3-1**

1 HISTORIKK OG KOMPASSROSE 3-1
1.1 Kompassrosen 3-1
1.2 Noen begreper 3-2
1.3 Oppgaver fra kapittel 1 3-3

2 MAGNETKOMPASS 3-4
2.1 Jordens magnetisme 3-4
2.2 Magnetfeltets variasjoner 3-7
2.3 Skipets magnetisme og deviasjon 3-8
2.4 Magnetkompasset (væskekompasset) 3-11
2.5 Natthuset 3-12
2.6 Korrigering av kompass 3-12
2.7 Beregning av deviasjonsforandring på lange seilaser 3-13
2.8 Fluxgate-kompass 3-13
2.9 Magnetisk sonde 3-15
2.10 Automatisk kompensering for misvisning og deviasjon 3-16
2.11 Magnetoresistive sensorer 3-16
2.12 Kabelkompass på seismikkskip 3-17
2.13 Andre typer kompass 3-18
2.14 Krav til magnetkompass 3-19
2.15 Oppgaver fra kapittel 2 3-19

3 GYROKOMPASSET 3-21
3.1 Historikk 3-21
3.2 Teoretisk grunnlag (dynamikk) 3-22
3.3 Gyroskopet 3-23
3.4 Gyroskopisk presesjon 3-24
3.5 Gyrohjulets størrelse 3-25
3.6 Nordsøking og stabilisering 3-25
3.7 Gyrofeil og kompensasjon 3-28
3.8 Kompassets oppbygging 3-30
3.8.1 Anschutz 3-31
3.8.2 Sperry, Simrad og Tokimec 3-35
3.8.3 S.G. Brown 3-36
3.9 Gyrorepeater og peilearrangement 3-36
3.10 Krav til gyrokompass 3-36
3.11 Oppgaver fra kapittel 3 3-38

4 OPTISKE KOMPASSER 3-39
4.1 Fiberoptisk ring-gyro (FRG / FOG) 3-39
4.1.1 Operasjonsprinsipp 3-39
4.1 2 Lyskilden 3-40
4.1 3 Optisk fiber 3-40
4.1.4 Kompass funksjoner 3-40
4.1.5 Nøyaktighet og fordeler 3-41
4.1.6 Utgangssignaler 3-42
4.1 7 Beskrivelse av et system – C.Plath SR-2100 3-42
4.2 Ring laser gyro (RLG) 3-43
4.3 Verdens mest nøyaktige gyro – Gravity Probe B 3-45

4.4 Oppgaver fra kapittel 4 3-45

5 TREGHETSNAVIGASJON 3-46
5.1 Innledning og historikk 3-46
5.2 Teoretisk grunnlag 3-47
5.3 Akselerometeret 3-48
5.4 TNS-systemer 3-49
5.5 Andre bevegelsesensorer (MRU / VRU /ADS) 3-51
5.6 Vibrasjonsgyro / Coriolis gyro 3-53
5.6.1 HRG-kompass 3-54
5.7 Lavkost treghetsnavigasjon 3-54
5.8 Oppgaver fra kapittel 5 3-55

6 AUTOMATISKE STYRESYSTEM OG FERDSKRIVERE 3-56
6.1 Historikk 3-56
6.2 Manuell styring og styremoduser 3-56
6.3 Autopilot – PID regulering 3-57
6.4 PID-regulatoren 3-57
6.5 Vanlige autopilot kontroller 3-61
6.6 Banestyring (Track steering) 3-63
6.6.1 Andre funksjoner 3-64
6.7 Faremomenter ved banestyring 3-65
6.8 Nødvendig interface (NMEA) 3-66
6.9 Tilkoblet utstyr 3-67
6.9.1 Voyage Data Recorder (VDR)/ ferdskriver 3-67
6.9.2 Ror- og ROT indikator 3-69
6.9.3 Conning display 3-69
6.10 Joystick styring og thruster kontroll 3-69
6.11 Power management panel 3-71
6.12 Oppgaver fra kapittel 6 3-73

7 DYNAMISK POSISJONERINGSSYSTEM – DP 3-74
7.1 Innledning og historikk 3-74
7.2 Frihetsgrader og referansesystem 3-75
7.3 Kalman-filter / Estimator og thruster-allokering 3-76
7.4 Filtrering, vekting og voting 3-77
7.5 Operasjonsmoduser 3-79
7.6 Prioritet 3-83
7.7 Systembegrensninger og innstillinger 3-83
7.7.1 Ankring og DP 3-84
7.8 Operasjon, vakthold og sjekkliste 3-85
7.9 Miljømessige forhold 3-87
7.10 Beredskap og sikkerhetsvurdering 3-88
7.11 Referansesystemer 3-89
7.11.1 Vindsensoren 3-89
7.11.2 Vinkelmålere (MRU og gyro) 3-89
7.11.3 Tautwire 3-91
7.11.4 Link-Bridge / gangvei 3-92
7.11.5 Riser-posisjonering 3-92
7.12 Elektroniske og akustiske posisjonsreferansesystemer 3-93
7.12.1 Satellittnavigasjonssystemer (GNSS) 3-93
7.12.2 Mikrobølgesystemer 3-95
7.12.3 Laser systemer 3-95
7.12.4 Hydroakustiske systemer 3-95
7.13 Power management og redundans 3-96
7.14 Dokumentasjon og alarmer 3-97
7.15 DP-statuslys (trafikklys) 3-98

7.16 Klassifikasjon og regelverk 3-99
7.16.1 G-OMO retningslinjer 3-99
7.16.2 FMEA-test 3-100
7.16.3 Forskjellige organisasjoner 3-100
7.16.4 Utstyrsklasser 3-101
7.17 DP-sertifikat 3-102
7.18 Rapportering og ulykker 3-103
7.19 Produsenter av DP-systemer 3-105
7.19.1 Situasjonsdisplay 3-106
7.20 Oppgaver fra kapittel 7 3-106

8 OPTISKE INSTRUMENTER 3-108
8.1 Innledning og historikk 3-108
8.2 Sekstanten 3-109
8.2.1 Justeringer og feil 3-110
8.2.2 Høydeobservasjon – noen eksempler fra A til Å 3-111
8.2.3 Måling av horisontale vinkler 3-114
8.3 Kunstig horisont og boblesekstant 3-115
8.4 Peileskiven 3-115
8.4.1 Avstandsmåling med peileskive 3-116
8.4.2 Kontroll av kompass – noen metoder 3-116
8.4.3 Elektronisk peileskive / ePelorus 3-118
8.5 Teodolitt 3-119
8.6 Målebordet 3-119
8.7 Optiske avstandsmålere og kikkerter 3-120
8.8 Lysforsterkere og IR-kamera 3-120
8.8.1 Lysforsterkere 3-121
8.8.2 IR-kamera 3-121
8.9 Oppgaver fra kapittel 8 3-122

9 SYMBOL OG FORKORTELSER – Del 3 3-124

10 LITTERATUR OG REFERANSELISTE – Del 3 3-127

11 LØSNINGSFORSLAG TIL ØVINGSOPPGAVER 3-128

**DEL 4 – UNDERVANNSAKUSTIKK 4-1**

1 HISTORIKK 4-1

2 SYMBOL OG FORKORTELSER – Del 4 4-4

3 AKUSTISK BØLGEUTBREDELSE 4-7
3.1 Fundamentale begreper 4-7
3.2 Pulsbasert transmisjon 4-8
3.3 Utbredelse og pulsintensitet 4-9
3.4 Begrepet *desibel (dB)* 4-9
3.5 Dopplereffekt og «chirp» 4-10
3.6 Oppgaver fra kapittel 3 4-11

4 TRANSMISJONSFORHOLD 4-12
4.1 Absorpsjon 4-12
4.2 Lydhastighet 4-13
4.3 Lydbaneberegning 4-14
4.4 Akustiske skygger 4-16
4.5 Målstyrke 4-18
4.6 Støy 4-20

4.6.1 Støy fra bølger og vind 4-20
4.6.2 Termisk støy 4-20
4.6.3 Fartøygenerert støy 4-20
4.6.4 Akustisk interferens 4-21
4.6.5 Biologisk støy 4-22
4.6.6 Mottagerstøy 4-22
4.7 Reverbasjon ( Etterklang ) 4-22
4.8 Sonarligningene m. eksempler 4-22
4.9 Oppgaver fra kapittel 4 4-25

5 AKUSTISK INSTRUMENTERING 4-27
5.1 Sender og mottager 4-27
5.2 De vanligste kontrollene 4-28
5.3 Svingere 4-31
5.3.1 Oppbygging 4-31
5.3.2 Strålingskarakterestikk 4-33
5.3.3 Direktivitet 4-34
5.3.4 Kildenivå 4-35
5.3.5 Stabiliserte svingere 4-35
5.3.6 Split-beam svingere 4-36
5.3.7 Elektronisk stråleforming 4-36
5.3.8 Plassering av svingere 4-39
5.4 Kalibrering av ekkolodd og sonarer 4-41
5.5 Oppgaver fra kapittel 5 4-42

6 AKUSTIKK TIL FISKE OG BIOLOGISKE FORMÅL 4-43
6.1 Ekkolodd 4-43
6.1.1 Tolking av ekkogram 4-43
6.1.2 Lupe og bunnekspansjon 4-44
6.1.3 Sonde 4-45
6.2 Sonarer 4-46
6.2.1 Presentasjon 4-46
6.2.2 Taktisk anvendelse 4-47
6.2.3 Multi- og flerstråle ekkolodd 4-49
6.2.4 Lystbåt og hobbysystemer 4-51
6.3 Ekkointegrasjon og biomasse måling 4-52
6.3.1 Ny teknologi og etterprosessering 4-55
6.3.2 Akustisk fjernmåling (OAWRS) 4-57
6.4 Biomassemåling i lukket basseng 4-58
6.5 Tarekartlegging og miljøovervåkning 4-59
6.5.1 Bakgrunn for tarekartlegging 4-59
6.5.2 Instrumentering 4-60
6.5.3 Etterprosessering ved hjelp av EP-500 / Sonar-5 4-61
6.5.4 Miljøovervåkning 4-62
6.6 Akustiske sensorer 4-63
6.6.1 Trål- og notinstrumentering 4-64
6.6.2 Fjernmåling av fisk 4-65
6.7 Fiskens reaksjon på akustisk støy 4-66
6.8 Oppgaver fra kapittel 6 4-68

7 AKUSTISK NAVIGASJON 4-69
7.1 Navigasjon med ekkolodd 4-69
7.2 Navigasjon med SONAR 4-71
7.3 Ubåt navigasjon 4-72
7.4 **H**ydroakustisk **P**osisjons **R**eferanse 4-73
7.4.1 Systemer og virkemåte 4-73
7.4.2 Utsetting og kalibrering av transpondere 4-78

7.4.3 Nøyaktighet og problemer 4-80
7.4.4 ARAP (Absolute and Relative Acoustic Positioning) 4-81
7.4.5 HAIN (Hydroacousticlly Aided Inertial Navigation) 4-82
7.4.6 Posisjonering av seismikkutstyr 4-82
7.4.7 Transpondere og frekvensvalg 4-83
7.5 Fartsmåling – logger 4-84
7.5.1 Dopplerbasert fartsmåling 4-86
7.5.2 Doppler strømmåling (ADCP) 4-87
7.5.3 Akustisk korrelasjonslogg 4-88
7.5.4 Elektromagnetisk logg 4-89
7.5.5 Fartsmil 4-91
7.6 Oppgaver fra kapittel 7 4-91

8 KARTLEGGING 4-92
8.1 Hydrografisk kartlegging (Batymetri) 4-92
8.2 Multistråle kartlegging 4-94
8.2.1 Arealdekkende kystmåling i Norge 4-96
8.2.2 Kalibrering av multistråle ekkolodd 4-99
8.3 Sidesøkende sonar 4-101
8.4 Penetrasjonslodd og sedimentanalyse 4-103
8.5 Parametriske kilder – Sub Bottom profiler 4-105
8.6 Seismisk kartlegging 4-106
8.6.1 Kartleggingsteknikk 4-107
8.6.2 Seismiske kilder 4-109
8.6.3 Skadevirkning av seismisk skyting 4-111
8.7 Kan LASER og satellitter erstatte akustikk? 4-113
8.8 Oppgaver fra kapittel 8 4-115

9 LITTERATUR OG REFERANSELISTE - Del 4 4-116

10 LØSNINGSFORSLAG TIL ØVINGSOPPGAVER 4-120

11 STIKKORDSREGISTER - Del 1-4 4-126

# Forord

Arbeidet med den første utgaven av boken startet i 1994, da første utgave av et kompendium i undervannsakustikk ble utviklet. Dette skulle bli første bidrag for å løfte instrumentfaget for studentene ved nautisk linje i den maritime høgskoleutdanningen. Da det ikke fantes relevant norsk litteratur som dekket hele instrumentfaget, ble arbeidet videreført for å kunne dekke alle instrumenter som er beskrevet i STCW-konvensjonen. I årene som fulgte ble 4 kompendier utviklet og utprøvd. Kompendiene har dekket faget *Navigasjonsinstrumenter*, *Avansert Navigasjon og Dynamisk Posisjonering* (DP), samt et lignende fag som er blitt tilbudt som fjernundervisning gjennom FUMAR. Kompendiene er videre benyttet i ARPA-, DP-, ECDIS- og AIS kurs som jevnlig holdes ved skolen. Kompendiene ble etter hvert så etterspurt blant skoler og bedrifter at jeg valgte å samle alle i et oppdatert fellesbind. Første utgaven kom ut i januar 2002. Boken vil gripe inn i forskjellige fag i Teknisk Fagskole, og vil også der kunne benyttes. Det vil videre være relevant fagstoff for universiteter som har grunnleggende instrumentdisipliner og marine operasjoner. Fra den tidligere kompendiestrukturen er boken delt i fire hoveddeler:

- Del 1 presenterer grunnleggende geodesi og stedlinjeteori, samt alle relevante radionavigasjonssystemer. Mest vekt er det lagt på satellittnavigasjonssystemer (GNSS). Det er lagt stor vekt på ytelse og begrensninger av systemene. Første delen beskriver også integrering av instrumenter og problemstillinger som dette medfører.
- Del 2 beskriver radarsystemer og elektroniske kartsystemer. I dette ligger beskrivelse av teknikker for å benytte systemene på en sikker og effektiv måte. VTS-systemer og AIS vil også være tatt med i denne delen.
- Del 3 omhandler alle relevante kompassystemer. Videre er det tatt med systemene som disse komponentene er koblet opp mot. Derfor kommer treghetsnavigasjon, autopilot og Voyage Data Recorder (VDR) her. En relativt stor plass har beskrivelsen av Dynamisk Posisjoneringssystem (DP) også fått. Herunder teknologi, operasjon og regelverk. Til slutt er det tatt med et kapittel om de optiske instrumentene sekstant og peileskive som kan benyttes til å sjekke nøyaktigheten på de forskjellige kompasstypene.
- Del 4 er i sin helhet viet undervannssystemene. I tillegg til en beskrivelse av ekkolodd, sonarer, HPR og fartsmålere er det innledningsvis en grundig innføring i undervannsakustikk. Flere bruksområder innen fiskeri og havforskning beskrives. Videre er det en grundig gjennomgang av offshore anvendelser og kartlegging.

Som nevnt er det tatt høyde for å dekke alle instrumentdisipliner som er beskrevet i STCW-konvensjonen. Av den grunn vil det også finnes et kort kapittel i del 3 som omhandler optiske instrumenter som sekstant og peileskive. Ellers behandler boken alle relevante elektroniske og akustiske navigasjonssystemer på et nivå som vil ligge en god del over det minimum som kreves i konvensjonen. Dette er gjort for også å kunne dekke videregående instrumentfag og deler av DP-opplæringen, som er en spesialiseringsretning ved enkelte skoler. Skoler som vil benytte boken i en ren sertifikatopplæring bør derfor foreta en viss seleksjon av stoffet i forhold til konvensjonen, og kombinere dette med relevante øvelser i navigasjonslaboratorier og simulatorer. Når jeg har laget en såpass omfattende og grundig gjennomgang av elektronisk navigasjon er det i den overbevisning om at dette stadig vil bli mer aktuelt, ikke minst gjelder dette i forhold til oppdateringer av STCW-konvensjonen som ventes i årene fremover. At flere ulykkesrapporter peker på at navigatørene har hatt fundamentale mangler i sin kompetanse, er også indikasjoner på at mer omfattende instrumentopplæring kreves. I en omfattende spørreundersøkelse som jeg gjorde blant 300 norske navigatører, høsten 2001, kom det frem en klar oppfatning om manglende opplæring i moderne navigasjonssystemer. Hele 73% av de spurte mente at deres maritime utdanning var for dårlig med hensyn på elektroniske navigasjonssystemer.

Når man skriver en lærebok innen en teknologi som er i rask utvikling vil man alltid være i tvil om at mye av stoffet vil være utdatert om kort tid. Det legges derfor opp til jevnlige oppdateringer. Store deler av boken vil være basert på grunnleggende teori om systemer som er ventet å vare i minst 10 år fremover. Selv om mye av stoffet er forskningsrelatert er det forsøkt å holde en så operasjonell

vinkling som mulig. Dette vil være basert på mine egne erfaringer som navigasjonsoffiser på en rekke forskjellige skip, samt fra min erfaring som forsker og lærer i navigasjonssystemer. I boken er det gjort noen strukturelle valg. Bl.a. er det i hver av de fire delene laget en liste med symbol og forkortelser som gjelder for den respektive delen. Jeg har valgt å benytte den engelske standarden for desimalskille, og følgelig er da punktum (.) benyttet. Forkortelser og terminologi vil være en miks av norsk og engelsk for at leseren skal kunne få kjennskap til de vanligste uttrykkene på begge språk. Jeg håper også at boken kan pirre leserens nysgjerrighet og være motiverende for videre studier og fordypning innen navigasjonssystemer. I denne sjette utgaven av boken har jeg gjort en total gjennomgang og oppdatering av tekst og figurer. Det er dessuten forandret format på boken til A4 – dette for å få med mer stoff og bedre figurer uten at antall sider økes. Videre er det utfra ønsker fra brukerne laget korte løsningsforslag til alle oppgavene i boken.

For lærere eller andre som ønsker å benytte boken i undervisning kan CD med alle de oppdaterte figurene (ca. 1000 figurer) leveres fra forfatteren (norvald.kjerstad@ntnu.no) i powerpointformat og i farger. Jeg tar gjerne imot innspill og eventuelle korreksjoner som kan taes med i neste utgave med takk (adr. under).

## Takk

Under utarbeidelsen og utprøvingen av kompendiene er det mange som fortjener en takk. Først til Fiskerienes Felles Kompetansestyre som støttet arbeidet i en tidlig fase. Videre nyttige kommentarer fra: Mats Kågstrøm (Universitetet i Tromsø), Nils Arne Nesbjørg (Høgskolen Stord / Haugesund), Børje Forssell (NTNU), bl.a. Tony Haugen og Kjetil Utne fra Sjøkrigsskolen, Bror Harris (Nau-Tech AS), Runar Ostnes, Tron Resnes og Terje Fiskerstrand (NTNU i Ålesund), Ole Ørpen (Fugro) og Arne Rinnan (Kongsberg Seatex). Foruten disse vil jeg takke firma som har bidratt med kommentarer og materiell som er benyttet; Furuno Norge, C-Map, Kongsberg Gruppen, ABB Marine systems, ProNav, Kongsberg Simrad, Rolls-Royce Marine, Litton Marine AS, L-3, Fugro, Veripos, C-Nav, Marine Technologies, Sonardyne, Guidance, mfl. Jeg har også fått nyttige kommentarer og innspill fra tidligere kollegaer i Norges Sjøkartverk og kollegaer i ekspertgruppen som under ledelse av Norsk Romsenter utarbeidet den første Norsk Radionavigasjonsplan i 2001. Jeg vil også rette en stor takk til alle seilende navigatører og tidligere studenter som jevnlig sender innspill fra operasjoner i hele verden.

Ålesund, august 2018.

Norvald Kjerstad,
Dosent / Professor, Nautical Science

NTNU
6025 Ålesund
www.ntnu.no
(tlf. +47 7016 1200, E-mail: norvald.kjerstad@ntnu.no)



# Del 1
# Radionavigasjonssystemer

- Geodesi og koordinatsystemer
- Stedlinjeteori og nøyaktighet
- Satellittnavigasjon
- Landbaserte systemer – Loran
- Kortdistanse- og integrerte systemer
- Oppgaver og løsningsforslag

Bilde:
Nordlys over LNG tanker *Arctic Princess* i Barentshavet

# 1 Geodetisk grunnlag og tid

Før man starter diskusjon om de mange begrepene innenfor elektronisk navigasjon er det viktig å gi en grundig beskrivelse av de geodetiske forhold som er av betydning for nøyaktig navigasjon og posisjonering. Med begrepet *geodesi* menes læren om jordens geometriske og fysiske egenskaper, spesielt form og tyngdefelt, hvilket er av stor betydning når gradnett skal konstrueres og posisjon defineres. I mer språkvitenskapelig forstand er ordet sammensatt av de greske ordene for «jord» + «deling». Av dette ser vi at ordet i oldtidens Hellas ble benyttet for jordeling og eiendomshandel. I dag er geodesi en gren av anvendt matematikk som beskriver størrelse og form på jorden, koordinater for punkter, lengder og retning på linjer, samt jordens tyngdefelt (gravitasjon). Vi kan dermed si at geodesien kan omfatte følgende fagområder:

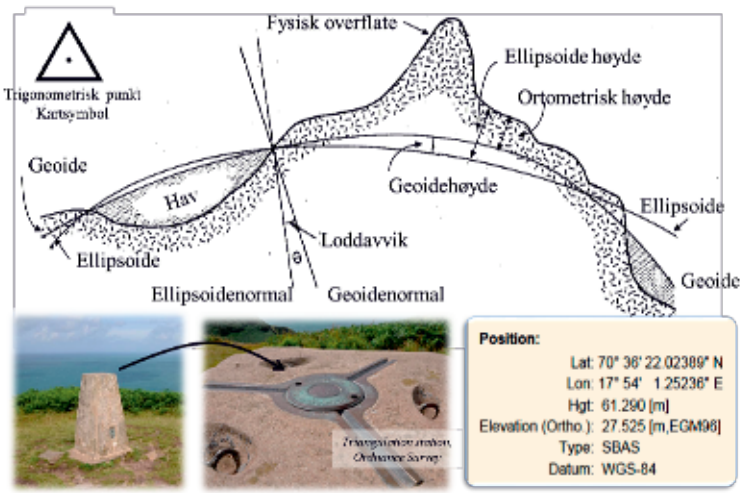
- 1. ordens triangulering
- Geodetisk astronomi
- Satellittgeodesi
- Presisjonsnivellement
- Gravimetri (tyngdemåling)
- Vannstandsmåling

I de fleste land vil det være triangulerte nett, gjerne ordnet som 1. orden, 2. orden, samt kommunal nett med referansepunkter som kalles *trigonometriske punkt* (trig. punkt). Eksempel på et slikt punkt er vist på figur 1.1. Avstanden mellom punktene i 1. ordens nett vil typisk være 30–60km, mens avstanden mellom punktene i 2. ordens trekantnett typisk er 10 – 20km.

Benyttes geodesien til sjøs kalles den ofte *marin geodesi*. Legg også merke til at jeg skiller begrepene *navigasjon* og *posisjonering*. Navigasjon vil normalt være en grovere bestemmelse av posisjonen, egnet til å bringe et skip sikkert og økonomisk fra havn til havn – nøyaktigheten kan typisk være noen hundre meter. Det er så en flytende overgang til begrepet posisjonering som vanligvis benyttes for stedsbestemmelse bedre enn 10 meter. I forskjellige land lages gjerne offentlige radionavigasjonsplaner til grunn for utvikling av systemer og referansegrunnlag. Viktigst i så måte er Federal Radionavigation Plan i USA.

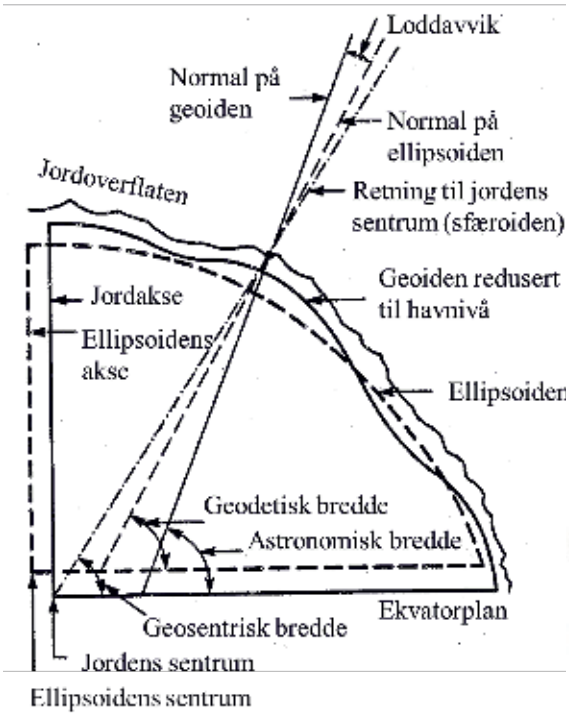
## *1.1 Jordens form*

**Geoiden**
I oppmåling på jorden spiller tyngdekraftens retning en vesentlig rolle da man ofte benytter loddsnor eller libelle som referanse. Tyngdekraften er resultanten av jordens tiltrekningskraft og sentrifugalkraft. Normalplanet på denne tyngdekraften kalles horisontalplanet, og vil på global basis bli en nivåflate (ekvipotensialflate) som faller sammen med havenes midlere vannstand. Tenker man seg vannmassene upåvirket av astronomiske og miljømessige faktorer kalles flaten for *geoiden* (fig. 1.1 og 1.2).

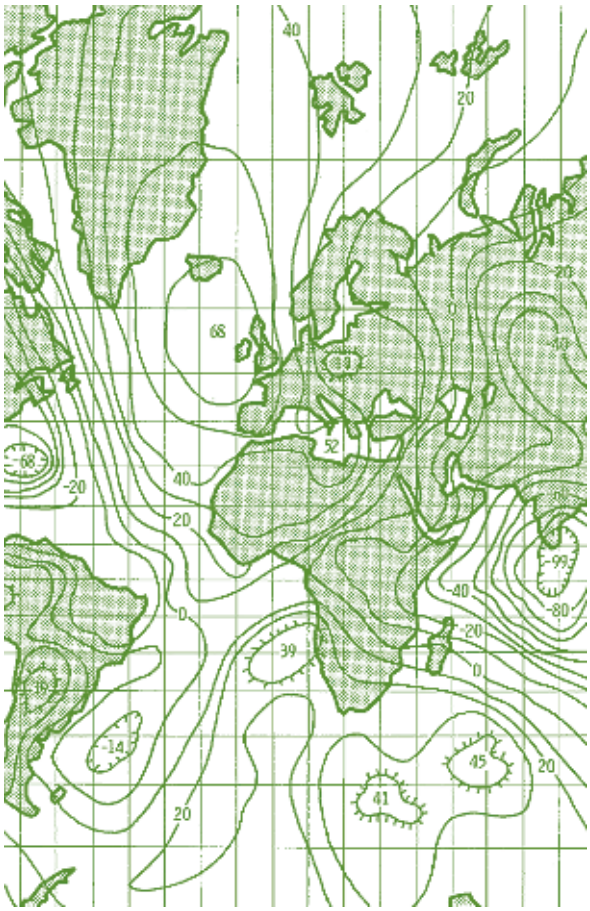



***Figur 1.1***
***Illustrasjon av viktige størrelser for å beskrive jordens form. Under er vist bilde og symbol av trigonometrisk punkt i Storbritannia. Punktene er nøyaktig definerte punkt i landenes koordinat-systemer. Under t.h. vises display fra en GNSS mottager hvor ellipsoidehøyde (Hgt) og ortometrisk høyde (Elevation) vises. Forskjellen mellom disse tilsvarer geoidehøyden.***

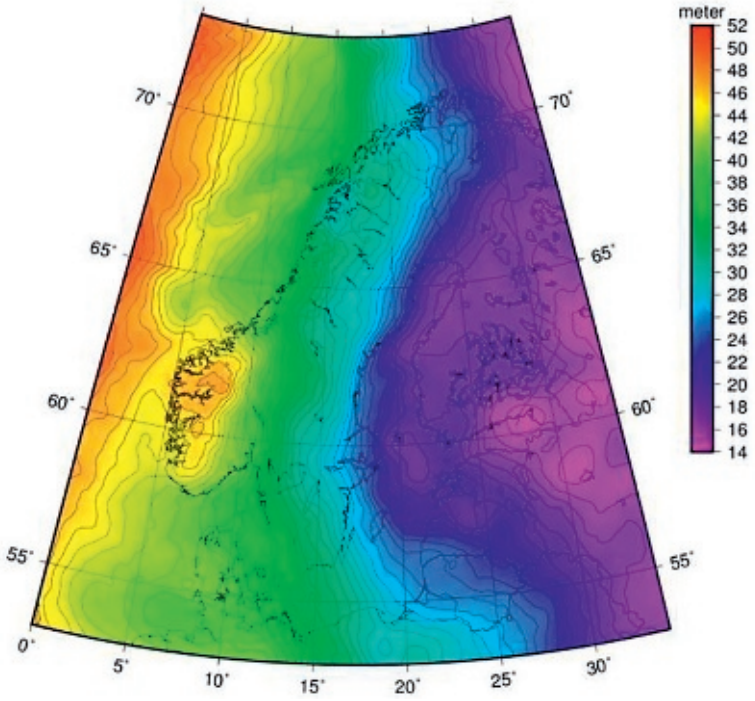
På grunn av usymmetriske masseforhold i jorden har tyngdekraften et uregelmessig forløp som vil gjøre geoiden ubrukelig for en presis beregningsflate for bestemmelse av punkter. Geoiden vil avvike med mindre enn ca. +/– 100 meter i høyde fra en rotasjons-ellipsoide med best mulig tilpassing (fig. 1.3 og 1.4). Avviket mellom geoiden og ellipsoiden kalles geoidehøyde og avviket mellom normalene til flatene kalles loddavvik. Høyden i terrenget målt loddrett til geoiden kalles ortometrisk høyde. Siden geoiden betraktes som en ekvipotensialflate kan geoidehøyden finnes ved hjelp tyngdemålinger (gravimetri). Loddavviket kan i massive fjellområder bli opp til et bueminutt.




***Figur 1.2***
***Detaljert illustrasjon av forholdet mellom geoide og ellipsoide med tilhørende begreper.***



***Figur 1.3***
***Kartet viser geoidehøyder (meter) på jorden (eng.: undulation). Legg merke til toppen på 68 meter nordvest av Irland.***




***Figur 1.4***
***Geoidehøydekartet over Skandinavia viser en detaljert oversikt over geoidehøyden (meter) i forhold til WGS-84 ellipsoiden.***

Beregningsflaten som benyttes ved satellittnavigasjon (GNSS) vil være en matematisk ellipsoide (fig. 1.5), som regel kalt et *datum*. For at posisjoner fra GNSS skal kunne kobles mot høyder på jordoverflaten, eksempelvis som høyde over havet, må man kjenne geoidehøyden (fig. 1.3 og 1.4). Modell av geoiden må derfor ligge i mottageren. Det finnes flere slike modeller, vanligst er Earth Gravitational Model (EGM96, EGM2008, etc.).

I navigasjonen har det vært vanlig å betrakte jorden som en kule (sfæroide) da dette har gitt tilstrekkelig nøyaktighet for astronomiske observasjoner og beregning av storsirkler ved seilas over havene. Det har lenge vært kjent at kuleformen kun har vært en tilnærmelse. I virkeligheten er formen svakt «pæreformet» og noe flattrykket på polene, uten eksakt rotasjonssymmetri. Å avbilde dette matematisk for så å konstruere et gradnett er ingen enkel prosess. Første kjente forsøk ble gjort i Alexandria av Erathostenes (275 – 195 f.Kr.). Viktigste matematiske tilnærming ble fremsatt av Newton i 1687 i form av to satser:

**a)** Likevektsformen for en flytende homogen masse som er underkastet loven om tiltrekningskraften og som dreier om en akse er en rotasjonsellipsoide. Omdreiningsaksen er ellipsoidens lille halvakse.

**b)** Tyngdekraften vokser mot polene proporsjonalt med 2. potens av sinus til den geografiske bredde. Disse satsene ble bevist ved målinger i Peru og i Lappland (1735 – 44) foretatt av det franske vitenskapsakademi.

På 1800 tallet ble flere ellipsoider beregnet ut fra geodetiske og astronomiske målinger. Vanligst er Laplace (1802), Bessel (1841), Clarke (1880), Hayford (1909) og Krasovsky (1938).

Best kan dette gjøres ved å betrakte jorden som en ellipse som roterer om sin lille akse (rotasjonsellipsoide) som vist på figur 1.5, hvor N representerer normalkrumnings-radiusen. Ellipsen kan beskrives som en annengradsfunksjon ut fra store- og lille halvakse, hhv. a og b:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Videre kan vi karakterisere ellipsen ved dens flattrykkning (f) og eksentrisitet (e) som også er gitt av aksenes dimensjoner:

$$e = \sqrt{\left(a^2 - b^2\right)} / a$$

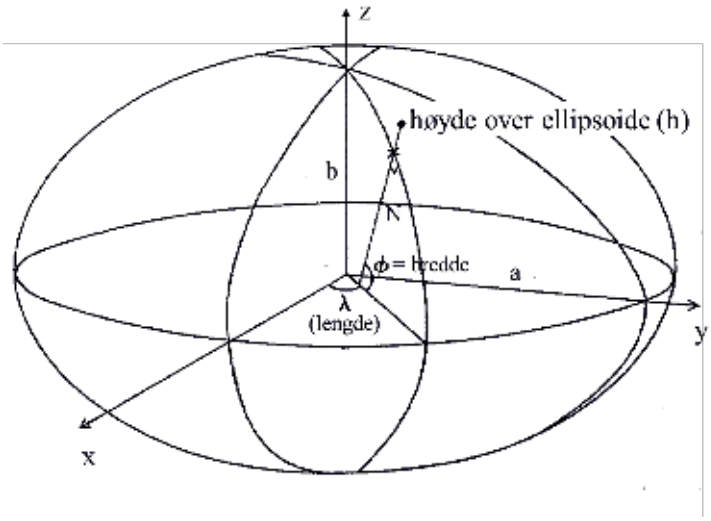
$$f = (a - b) / a$$

$$e = \sqrt{1 - (1 - f)^2}$$

Tilnærmet kan verdiene settes:
a = 6378.3 km
f = 1/298
e = 0.0818

Vi kan etter dette slutte at all optisk landmåling og nøyaktige astronomiske observasjoner vil bli referert til geoiden mens kartets gradnett refereres til den matematiske ellipsoiden. Som det går frem av figur 1.2 vil en astronomisk observasjon bli påført en feil som ikke lettvint lar seg korrigere.

***Sjøkartlegging***
*Skal man benytte GNSS for å måle tidevannets høyde under sjøkartlegging kreves svært nøyaktig geoidemodell, samt koblingen mot sjøkartets 0-nivå (laveste lavvann, LAT). Se del-4, samt kapittel om tidevann i Fremføring av skip (Kjerstad, 2016), samt fig. 3.133.*




***Figur 1.5***
***Rettvinklet koordinatsystem plassert i forhold til en rotasjonsellipsoide. Se også figur 1.1.***

***Mount Everest** (8848 m.o.h.) er ikke verdens høyeste fjell hvis vi måler fra jordens sentrum. Da ville Chimborazo i Ecuador som normalt er 6310 m.o.h. være 2195 meter høyere enn Everest. Fem andre fjell ville også rage over Everest etter en slik målemetode. Dette på grunn av jordens utbuling ved ekvator.*

## 1.2 Koordinatsystemer og datum

For beskrivelse av en observasjon, bevegelse av satellitter og for fremstilling av kart må man relatere disse til et veldefinert og reproduserbart referansesystem. I mange tilfeller vil det være uegnet å benytte samme referansesystem til forskjellige typer presentasjon. Dette fører også med seg behovet for å kjenne forholdet mellom de forskjellige koordinatsystemene. For referanse til satellitter vil dessuten tiden spille en viktig rolle i et slikt forhold.

Det er vanlig å benytte 2 hovedtyper koordinatsystem:

**a) Terrestriske koordinater** har en fast beliggenhet knyttet til jordskorpen og roterer med denne. Origo ligger i eller nær jordens tyngdepunkt (geosentrisk system), eller det ligger i et punkt på jordoverflaten (toposentrisk system). Systemene benyttes til å beskrive posisjoner på eller nær jordoverflaten. Av terrestriske koordinater kan vi også finne begreper som:

**Kartesiske koordinater** er basert på et treakset (X, Y, og Z) høyrehåndssystem hvor man er ute etter å fastlegge posisjoner på overflaten av en ellipsoide. Det er vanlig å benytte meter som enhet.

**Geografiske koordinater** er basert på vinkelmål fra et kjent referansenett som dekker jorden. Nord-syd retning kalles bredde (latitude) og er definert som vinkel i forhold til ekvator. Ekvator er da 0° og Nord- / Sydpolen følgelig 90°. Øst-vest retning kalles lengde (longitude) og er definert som vinkel i forhold til meridianen som går gjennom Greenwich observatoriet i London (0-meridianen). Lengden blir da 0° ved Greenwich og E/W 180° ved «datolinjen» i Stillehavet. I maritim virksomhet er det vanlig å oppgi vinkelen på et format med grader, minutter og desimalminutter, eks.:

N 62°38.123′ / E 006°18.789′

Med grader, minutter, sekunder og desimalsekunder blir samme posisjonen:

N 62°38′07.38″ / E 006°18′47.34″

Overgangen fra desimalminutter til sekund og desimalsekund kan beregnes ved å sette opp forholdet:

123/100 = X/60
X = (123*60)/100 = 7.38″

Selv om formatet blir lite benyttet i nautiske sammenhenger kunne også samme posisjon skrives som desimalgrader:

N 62.6353° / E 006.3132°

Forholdene er da:
1° = 60′ = 3600″
1′ (breddeminutt) = 1nm = 1852m (tilnærmet 1 lengdeminutt ved ekvator)
0.1′ = 185.2m
0.01′ = 18.52m
0.001′ = 1.852m
0.0001′ = 18.52cm
1′ = 1/60 grad ): 0.1° = 0°06′

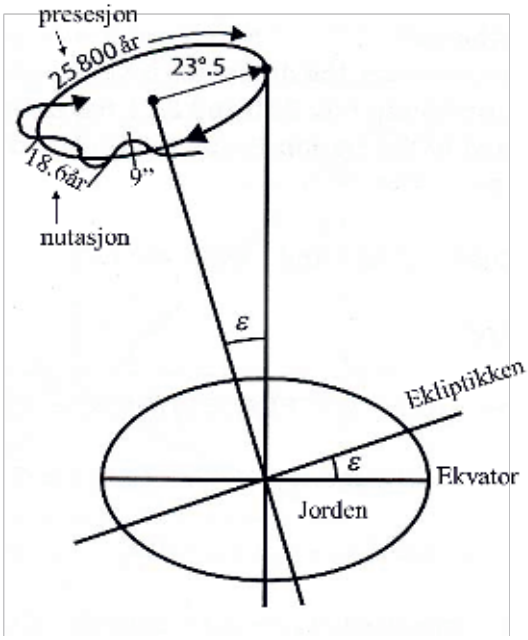
Legg merke til at vi må benytte N, S, E eller W for å gjøre koordinatangivelsen entydig. I stedet for bokstaver vil kalkulatorer og dataprogram normalt bruke minus (–) for S og W.

**Grid-koordinater** er rektangulære metriske koordinater som gjerne benyttes i rutenett på forholdsvis små områder hvor beregninger kan gjøres ut fra alminnelig plangeometri (ref. UTM i kap.1.2.1).

Det finnes programvare som kan konvertere mellom både koordinatsystem, format og datum (fig. 1.23).

**b) Himmelkoordinatsystem (celestisk)** er knyttet til solsystemet og anvendes primært for å definere koordinater for himmellegemer. I tillegg finnes det et sett banekoordinater som benyttes til å beskrive satellitter i bane rundt jorden.

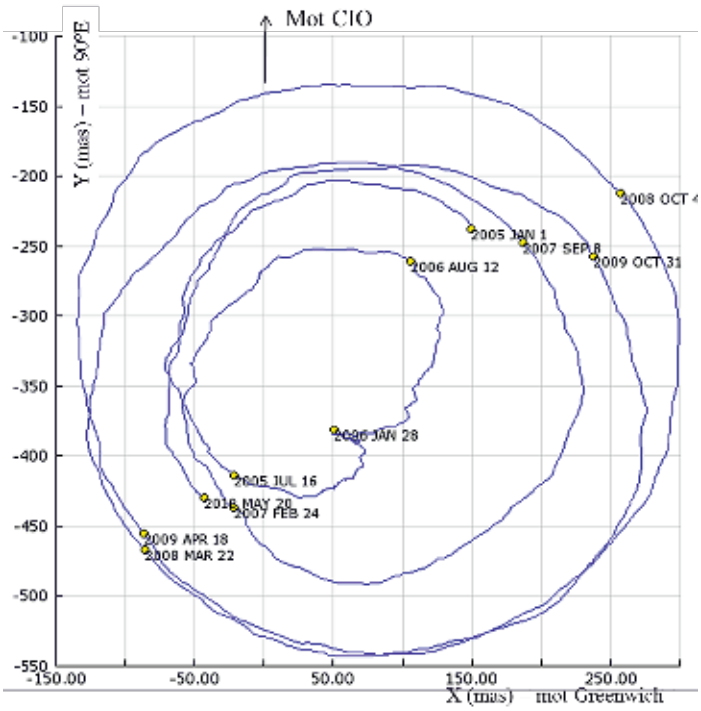
Satellitters bevegelse beskrives av Newtons bevegelsesligninger som gjelder for et system som er i ro eller jevn bevegelse. På grunn av jordaksens periodiske bevegelse om referanseaksen og eklipseplanet (jordplanets skjæringsvinkel med himmelkulen, eller solbanen sett fra jorden), vil et referansesystem bevege seg i forhold til en «fiksstjerne». Denne bevegelsen beskrives som *presesjon* og *nutasjon* (fig. 1.6).




***Figur 1.6***
***Jordaksens bevegelse over en syklus på ca. 25,800 år.***

> ***Polbevegelsen***
> *gjør at den eksakte posisjon på polarsirkler og vendesirkler, som er referert til solen, beveger seg noen meter hvert år.*

Presesjon betraktes som variasjon av jordaksens retning i verdensrommet. Denne bevegelsen er vel 50.2″ pr. år, og vil følgelig i løpet av ca. 25,800 år beskrive en full kjegleflate i rommet. Månen har en tilsvarende presesjon som igjen gir en periodisk påvirkning på jorden. Denne påvirkningen kalles nutasjon og har en periode på 18.6 år, som for øvrig også vil være tidevannets repetisjonsfrekvens. I tillegg til dette har vi *polbevegelsen* som er definert som jordkroppens dreining i forhold til rotasjonsaksen, hvilket vil føre til periodiske variasjoner i astronomisk lengde og bredde. Aksen vil bevege seg om en midlere pol (ikke i forhold til fiksstjerne) i en tilnærmet sirkulær bevegelse som er sammensatt av to periodiske komponenter. En med periode på et år og med amplitude på 0.06–0.10″ (buesekunder) og som trolig skyldes meteorologiske faktorer. Den andre med periode på ca. 435 dager (Chandelers periode) og amplitude på 0.08 – 0.18″ og som skyldes vinkelen mellom omdreiningsakse og treghetsakse. Polbevegelsen er vist på figur 1.7. Origo er den midlere pol i perioden 1900–1905 og betegnes CIO (Conventional International Origin).




***Figur 1.7***
***Polbevegelsen beskrevet i forhold til CIO i perioden 2005–2010. Enheten «mas» er et millibuesekund (ca. 3 cm).***

CIO vil følgelig være en retning som ligger fast i forhold til jordkroppen. Den momentane pol fastlegges av bl.a. International Bureau of Weights and Measures (BIPM), International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) og DMAHTC (Defense Mapping Agency). Ref:

www.iers.org
www.bipm.org
https://www.nga.mil

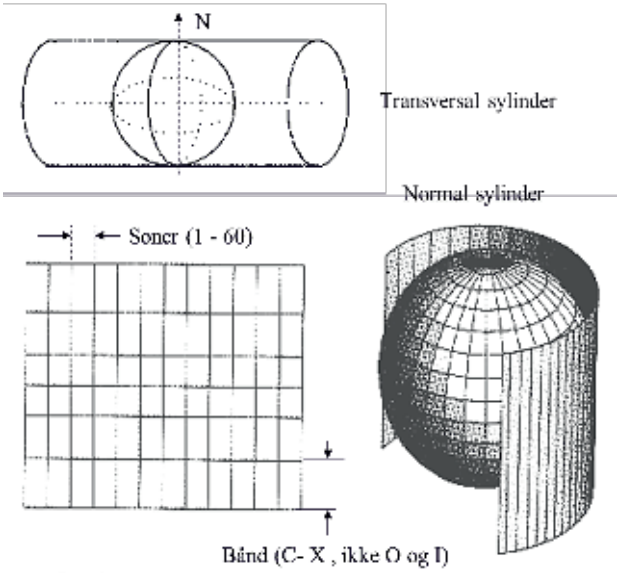
Et celestisk system vil ikke være egnet til terrestriske formål. Man er avhengig av at et fast punkt på jorden ikke varierer med tiden. Det konvensjonelle terrestriske systemet (CTS) har den første aksen liggende i skjæringen mellom Greenwich meridianen og ekvatorplanet, den tredje aksen i CIO og den andre aksen vinkelrett på første- og tredje akse.

Vektorer i det terrestriske system kan representeres ved kartesiske (X, Y, Z) eller geografiske koordinater (φ, λ, h) slik vist på figur 1.5, og hvor de kartesiske er ECEF-koordinater (Earth Centered Earth Fixed). Ved hjelp av matriser kan man transformere mellom de to systemene. Avviket mellom den geodetiske og den geosentriske bredden skyldes eksentrisiteten på ellipsoiden og vil maksimalt være ca. 0.2° ved ca. 45° bredde.

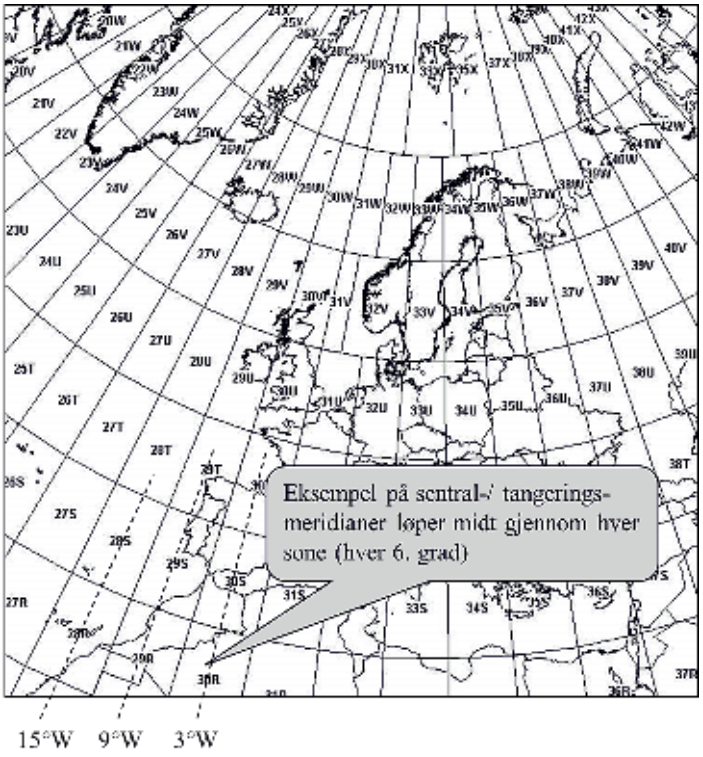
### 1.2.1 UTM-systemet

Ved å snu den vanlige projeksjons-sylinderen som benyttes i Mercator projeksjoner 90° får vi en såkalt transversal Mercator projeksjon (fig. 1.8). Sylinderen vil dermed tangere jorden langs en meridian. Forvrengningen blir dermed liten langs denne tangeringsmeridianen og i polare strøk. Denne projeksjonen benyttes mye innen oppmåling og dynamisk posisjonering (DP). Ved å standardisere tangeringsmeridianene har man blitt enig om et verdensomspennende koordinat system som kalles UTM (Universal Transversal Mercator) (fig. 1.8 – 1.12). Tangeringsmeridianene er valgt til hver 6. lengdegrad – 3, 9, 15° øst etc. , og projeksjonen langs den respektive meridian kalles en sone. Systemet deler da inn jorden i 60 soner a 6 lengdegrader, og 20 «bånd». Sonene starter ved 180° E/W («Anti-Meridianen») og går østover og er nummerert fra 1 til 60. Båndene er begrenset av breddegradene mellom 80°S og 84°N. Hvert belte er identifisert med en bokstav fra C til X

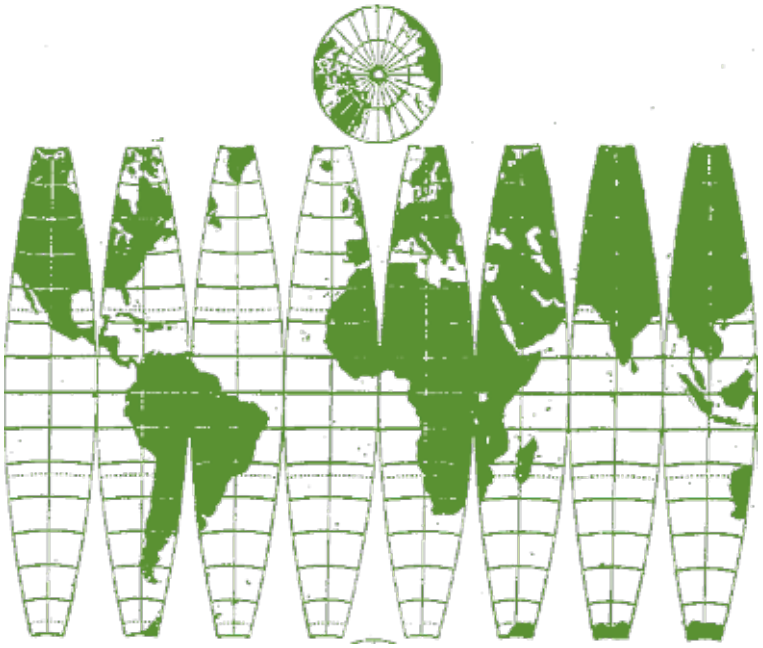
(ikke O og I), stigende fra syd til nord. Sonene er identifisert med sitt eget nummer og stiger østover fra 180° lengde. Et område vil på denne måten identifiseres ved sone nummer og belte bokstav, f.eks. 32V for sydlige delen av Norge.




*Figur 1.8*
*Normal og transversal sylinder projeksjon.*




*Figur 1.10*
*UTM soner i Europa. Merk at det er utvidede soner nord om 72°N.*



*Figur 1.9*
*Gradnettet på en sylinderprojeksjon som berører en meridian.*

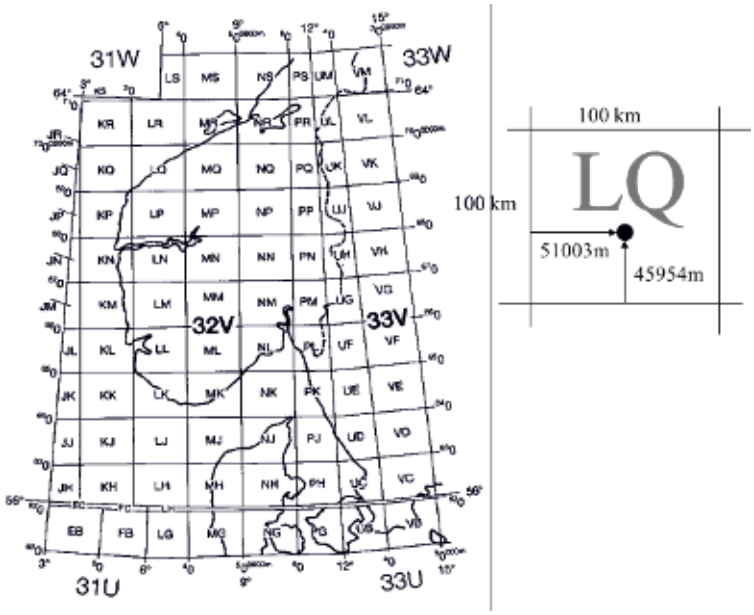



*Figur 1.11*
*Eksempel på posisjon innenfor en sone. På GPS display er det vist eksempel på presentasjon av UTM-koordinater for Ålesund (NTNU).*

I virkeligheten er målestokken 0.9996 på tangeringsmeridianen, hvilket betyr at det egentlig er en skjærende projeksjon hvor sylinderen vil skjære jorden i to parallelle linjer – en linje på hver side av den såkalte tangeringsmeridianen eller sentralmeridianen. Ved å transformere et slikt område (f.eks. 32V) til et plan vil vi i det begrensede område kunne benytte et rektangulært koordinatsystem uten særlig store feil.

Koordinatene i et UTM system er til sjøs oppgitt som N (North) og E (East), og den vanligste enheten er meter. Øst koordinaten refereres til tangeringsmeridian som er definert som 500,000m (fig. 1.11), og er voksende østover. På denne måten unngår man negative verdier innen en sone på 6°. Nord (og syd) koordinat er gitt som antall meter fra ekvator. For å unngå negative verdier på sydlige halvkule er det her laget et tillegg på 10,000,000m («false northings»). I USA kan man fortsatt finne at koordinatene er basert på fot i stedet for meter. Av praktiske grunner kan man enkelte steder finne at soner er utvidet utover de 6 gradene som er standard, for at spesielle landmasser skal komme inn i en ønsket UTM definisjon.

For å gjøre stedfesting mer praktisk i et lite område er området ned delt til kvadratiske områder på 100 x 100km, som identifiseres med to bokstaver (fig.1.12).

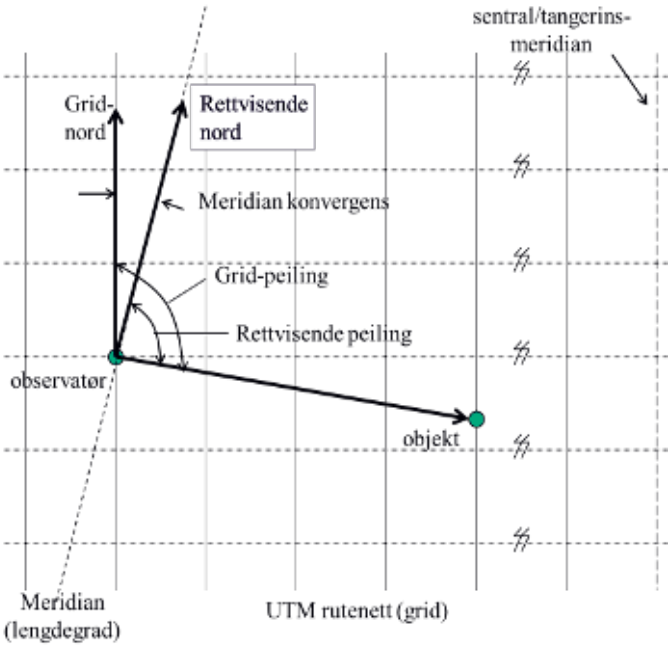



***Figur 1.12***
***Inndeling av 100 km rute i sone 32V og eksempel på posisjon i en rute.***

Koordinatene innen hver slik smårute er da gitt i meter fra nederste venstre hjørne (X nordover og Y østover). UTM koordinater vil på lik linje med geografiske koordinater være relatert til et bestemt datum.

Som det går frem av figur 1.11 ser vi at det vil være et avvik mellom rettvisende nord og «rutenett (grid) – nord». Dette avviket vil øke med avstanden fra sentral-meridianen (tangeringsmeridianen). Dette betyr at man ikke kan sette ut en vanlig rettvisende peiling i et UTM kart uten at man tar hensyn til meridian-konvergensen, som vanligvis er oppgitt i kartet. Forholdet er forsøkt belyst med et eksempel fra en posisjon vest for sentral meridianen hvor konvergensen er negativ (fig. 1.13). Under avanserte maritime operasjoner hvor det benyttes dynamisk posisjonering (DP) (ref. del 4) kan det også være aktuelt å definere skipets heading etter samme prinsipp. Heading kan da enten settes som «grid heading» eller «true heading» (rettvisende).

En loksodrom-kurs vil ikke bli en rett linje på en UTM-projeksjon slik vi er vant med på en vanlig Mercator projeksjon.




***Figur 1.13***
***Ved utsetting av peilinger i et UTM gradnett må man ta hensyn til meridian-konvergens. Konvergensen øker jo lengre man beveger seg fra sentralmeridianen.***

**Et par regneeksempel:**
a)
Du er ved Galapagos øyene i posisjon S 01°10′ – W089°35′. Beregn omtrentlige UTM-koordinater basert på sfærisk jordkule og UTM sone 16 med sentral meridian lik 087°W.

**Løsning:**
Vi er på sydlig halvkule og «Northing» koordinat vil tilsvare «False Northing» lik 10,000,000m – distanse fra ekvator. Distanse fra ekvator er: 01°10' = 70' = 70 * 1852m = 129,640m. «Northing» = 10,000,000 – 129,640 = 9,870,360m. Vi ligger videre her vest for sentral meridianen og easting vil tilsvare «false easting» på 500,000m – distanse til sentral meridian. Distanse til sentral meridian er: 002°35′ = 155 lengdeminutt = 155 * 1852 * cos (1°10′) = 287,000m. «Easting» blir følgelig: 500,000 – 287,000 = 213,000m.

Kommentar til løsning: Hadde vi benyttet eksakte geodetiske verdier for ellipsoide (WGS-84) ville koordinatene blitt: N 9,870,916.1m / E 212,500.9m

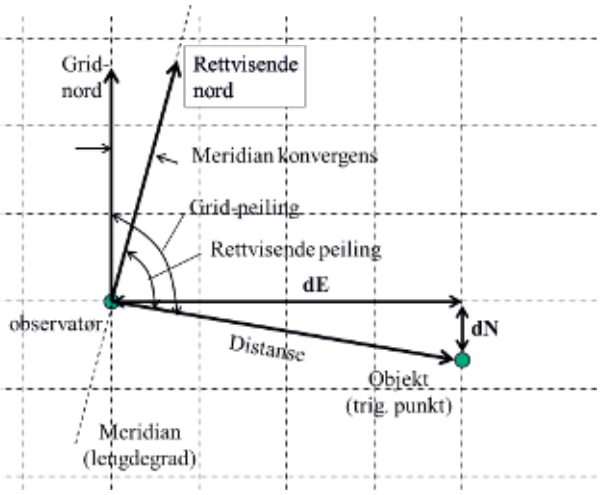
b)
Din posisjon er:
N 62°28.3298', E 006° 14.1669' /
N 6,929,931 – E 357,511 – Sone 32
Meridian Konvergens = –2.5°. Du peiler et trigonometrisk punkt i nærheten som er oppgitt å ha UTM koordinatene N 6,929,467 – E 359,607. Beregn «grid peiling» og «grid avstand», samt rettvisende peiling til punktet.

**Løsning:**
Vi ser at punktet ligger øst og sør for oss (fig.1.14). Finner først forskjell i nord og øst mellom posisjonene (dN / dE).
dN = 6,929,931–6,929,467 = 464m
dE = 357,511–359,607 = 2096m
Beregner grid distanse med vanlig Pytagoras:

Distanse = $\sqrt{dN^2 + dE^2} = \sqrt{464^2 + 2096^2}$
= 2147m

Grid peiling blir 90° + φ:
tan(φ) = dN/dE = 464/2096 = 0.2214
φ = 12.5° ): peiling er 102.5°

Rettvisende peiling er grid peiling + meridian konvergens = 102.5°+(–2.5°) = 100.0°

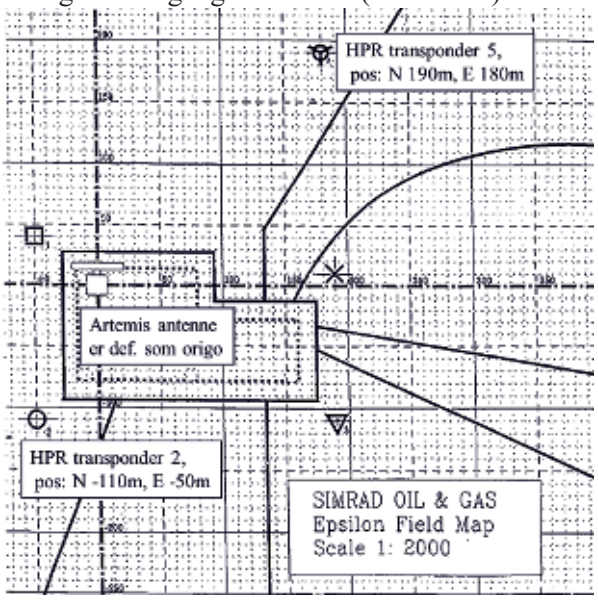



***Figur 1.14***
***Illustrasjon av eksempelet foran, hvor distanse og peilinger beregnes.***

> ***Norsk Transversal Mercator, NTM***
> *For bedre lokal projeksjon i Norge er det for land- og byggeformål innført et sekundert «UTM» system med 1° sonebredde, hvor sonene 5 – 30 har sentrelmeridianer fra 5°30' – 30°30'. Falsk nord og øst er hhv. 1,000,000m og 100,000m. Systemet er basert på EUREF89.*

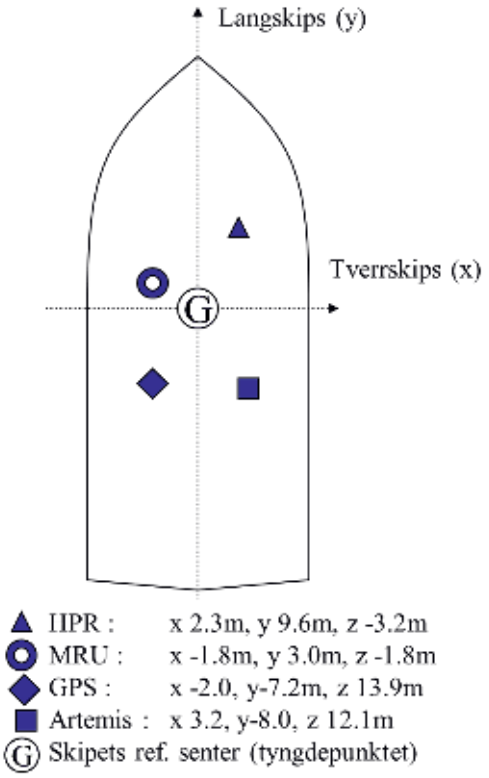
## 1.2.2 Lokale metriske koordinatsystem

I enkelte tilfeller kan det være praktisk å ha et lokalt metrisk koordinatsystem, hvor origo (0-punkt) legges til en bestemt referanseposisjon. I offshore sammenheng gjøres dette ofte når man skal definere f.eks. posisjon på installasjoner i forhold til en bestemt plattform (fig. 1.15). Orienteringen på lokale systemer er vanligvis mot geografisk nord (som UTM).



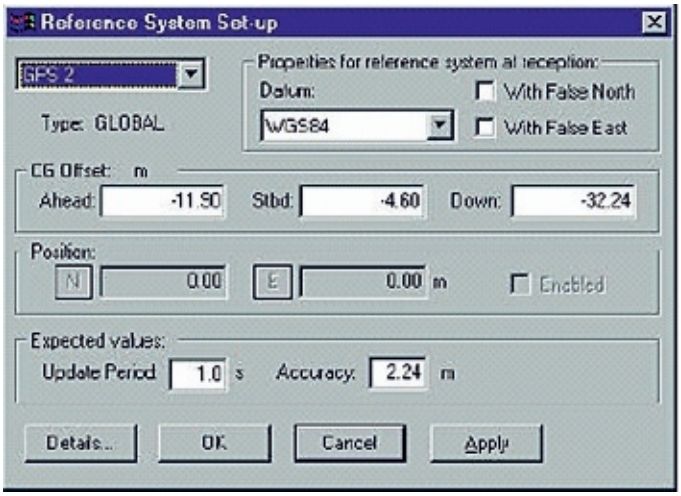

***Figur 1.15***
***Lokale metriske koordinater med origo på en plattform (Kilde: Kongsberg Simrad).***

På avanserte oppmålingsfartøy vil man også ha lokale koordinatsystem for å sørge for entydig posisjonsreferanse, f.eks. i forhold til skipets tyngdepunkt (G) (fig. 1.16). Det er da vanlig å orientere koordinatene i skipets lengderetning med positive verdier forover, til styrbord og ned. Eksempel på hvordan slik informasjon kan legges inn på et DP system er vist på figur 1.17. Denne type informasjon er også viktig å legge inn i AIS systemene (ref. del 2) slik at disse kan formidle riktig informasjon til andre skip som mottar AIS informasjon.




***Figur 1.16***
***Eksempel på lokalt referansesystem på et skip. Definering av antenneposisjon vil kreve stor grad av nøyaktighet.***

***Husk!*** *Posisjon må alltid defineres med datum og koordinatsystem. Følgende koordinater representerer eksakt samme sted:*
*N62° 28.0000' - E006° 14.0000' (WGS-84)*
*N62° 28.0237' - E006° 14.0997' (ED-50)*
*N6 929 224.1m - E357 342.6m (WGS-84, sone 32)*
*N6 929 432.1m - E357 422.9m (ED-50, sone 32)*
*N6 930 341.7m - E666 706.5m (WGS-84, sone 31)*




***Figur 1.17***
***Eksempel på hvordan posisjon på forskjellige posisjons sensorer defineres i et DP system (Kilde: Kongsberg Simrad).***

Når man skal beregne posisjonene fra de forskjellige systemene inn til et felles referansepunkt, slik vist i figur 1.16 gjøres dette men vanlig trigonometri, basert på skipets rulle- og pitch vinkel. Har man lange avstander mellom de forskjellige sensorene vil det følgelig stilles strenge krav til presisjon i vinkelmålingene fra MRU (Motion Reference Unit, ref. del-III). Eksempelvis vil en feilmåling på 1° introdusere en feil på 1.75m på hundre meter – noe som vil bidra til uakseptable feil for eksempel under dynamisk posisjonering (DP).

### 1.2.3 Geodetisk datum

Generelt kan det sies at et datum er et basis system for målinger og beregninger - en felles referanseramme. De forskjellige kartverkene i verden har tradisjonelt hatt som mål å benytte et datum som er best mulig tilpasset landets geoide (***lokalt datum***) på et gitt tidspunkt. Siden jordens form ikke er symmetrisk betyr det i praksis at de forskjellige datum som er benyttet vil være basert på forskjellige ellipsoider. Tenker vi oss en ellipsoide med sentrum i jordens tyngdepunkt og som tilslutter hele geoiden best mulig har vi det vi kaller et ***globalt datum*** (fig. 1.18). På grunn av definisjon av lengde og bredde vil posisjon være avhengig av ellipsoidens form og plassering og følgelig vil koordinatene på en plass være forskjellig etter hvilke datum som benyttes. Et lokalt datum defineres ved følgende 8 parametere:

a = ellipsoidens store halvakse
f = ellipsoidens flattrykkning ((a-b)/a)
$\varphi_0$= fundamentalpunktets bredde
$\lambda_0$= fundamentalpunktets lengde
$\xi_0$= loddavvik i nord-syd retning i fundamentalpunktet
$\eta_0$= loddavvik i øst-vest retning i fundamentalpunktet
$\alpha_0$= geodetisk asimut i fundamentalpunktet for en side i trekantnettet
$N_0$= geoidehøyde i fundanentalpunktet

Fundamentalpunktet vil være hvor ellipsoiden er «opplagret» og vil vanligvis være et veldefinert trigonometrisk punkt i nærheten av et observatorium. Eksempel på datum er vist i tabell 1.1. I tillegg til datum som er listet i tabell 1.1 finnes det et mylder av systemer som er tilpasset et aktuelt land eller region på jorden. Det globale datumet WGS-84 vil være forankret i jordens massesenter, hvilket også gjør at loddsnoren til landmålere alltid vil peke mot dette punktet. Siden jordens massesenter beveger seg vil WGS-84 justeres litt over tid. Lokale datum er tilpasset et relativt lite område eller region vil globale datum normalt avvike noe mer fra geoiden. Gradnettet på norske sjøkart har siden 1988 vært WGS-84.

På grunn av globale satellittnavigasjons-systemer er WGS-84 har fått stor utbredelse og har i de fleste tilfeller fortrengt eldre lokale datum. Det nye EUREF-89 som benyttes på landkart i Europa er svært likt WGS-84. Det samme er det nye nordamerikanske datumet NAD-83. EUREF-89 er for øvrig basert på GPS målinger foretatt i 1989, men på grunn av begrensningene som da var i GPS systemet er målingene omregnet og justert i 1994. I Norge bygges det nå opp et nytt nett basert på EUREF-89 koordinater (tilnærmet WGS-84). For bruk i Nordsjøen finnes det også et datum som kalles WGS-84*SEA som er en WGS transformasjon fra ED-87 (som er transformert fra ED-50). Dette nordsjødatumet vil maksimalt avvike fra WGS-84 med ca. 1 meter. WGS-84 ble i 1997 justert slik at det faller sammen med ITRF (International Terrestrial Reference Frame, f.eks. ITRF14 / IGS). Man kan også finne begrepet EPSG:2326 som er en nøyaktig beskrivelse av WGS-84. Referansesystemene i satellittsystemene Galileo og Glonass vil være knyttes til ITRF. BeiDou benytter China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000), som også er konsistent med ITRF.

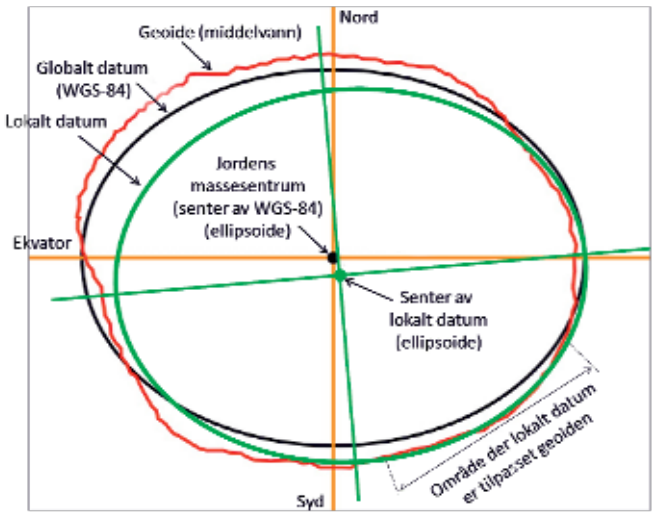
Siden FN har nedsatt en arbeidsgruppe for å utarbeide en ny global referanseramme, kalt Global Geodetic Reference Frame (GGRF), er det grunn til å tro at denne en gang i fremtiden vil ta over.

***Tabell 1.1***
***Noen aktuelle parameter for forskjellige lokale og globale datum.***

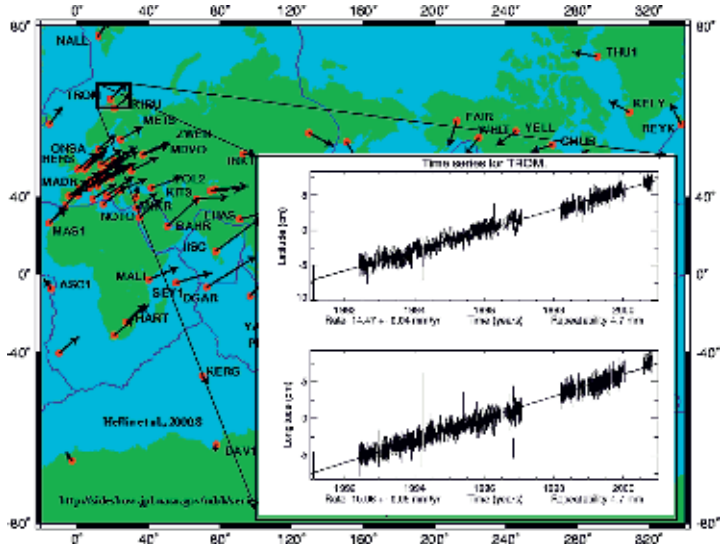
| Navn | Type | Ellipsoide | Fundamentalpunkt |
|---|---|---|---|
| NGO-1948 | Lokalt (Norge) | a = 6377492.0175<br>f = 1/299.1528 | Oslo observatorium |
| ED-50 | Lokalt (Europa) | a = 6378388.0<br>f = 1/297<br>Heyford 1909 | Helmerts tårn i Potsdam |
| NAD-27 | Lokalt (USA) | a = 6378206<br>f = 1/295<br>Clark 1866 | Meads Ranch i Kansas |
| Pulkova-42 | Lokalt (Russland) | a = 6378245<br>f = 1/298.3<br>Krasovsky 1938 | Pulkova observatoriet i St.Petersburg |
| WGS-84 | Globalt | a = 6378137.0<br>f = 1/298.257223563 | Jordens massesenter |

**Kontinentaldrift og landhevning**
Variasjonen mellom EUREF-89 og WGS-84 skyldes at det ene er låst til fastpunkt på jorden og det andre er låst til jordens sentrum. Forholdet til disse vil forandre seg litt over tid på grunn av små variasjoner i jordsenteret og kontinentaldrift. Som vist på figur 1.19 ser vi at Norge eksempelvis driver ca. 2cm nordover pr. år og Australia driver 7cm sydover pr. år. Selv om bevegelsene er forholdsvis små er denne type informasjon viktig når man skal etablere referanser for ekstremt nøyaktige satellittnavigasjons-systemer (ref. kap. 3), hvor det er snakk om nøyaktighet i cm-området.

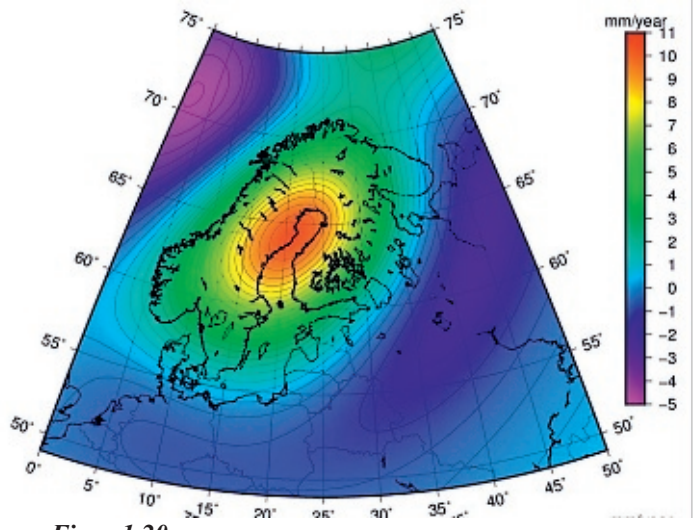
I tillegg til kontinentaldriften vil lokale bevegelser i jordskorpen kunne forandre geoidens avvik fra ellipsoiden i begrensede områder. Grunnen til dette kan være vulkansk aktivitet, smelting og bevegelse av isbreer, etc. I Skandinavia har man en generell landhevning som følge av issmeltingen etter siste istid. Figur 1.20 viser denne landhevningen med senter i Bottenviken hvor landet stiger med bortimot 10mm i året.




***Figur 1.18***
***Illustrasjon som viser forskjellen mellom globalt datum (ellipsoide) og lokalt datum.***



***Figur 1.19***
***Pilene viser kontinentaldrift i forskjellige deler av verden. Kurvene viser nord og øst drift i Tromsø på ca. 1.5cm pr. år.***




***Figur 1.20***
***Årlig landheving i mm i Skandinavia som følge av nedsmelting av iskappen som hadde sitt maksimum for ca. 20,000 år siden (NGK, 2016).***

Under det sterke jordskjelvet som rammet Japan i 2011 ble deler av Japan forskjøvet flere meter. Skjelvet, som målte 9.0 på Richters skala, hadde sitt episenter ca. 60 mil utenfor nordøstkysten. Basert på Japans avanserte nettverk av ca. 1200 GPS mottagere (GEONET) målte de forskyvninger på mellom 6 og 48m langs forkastningen på ca. 400km. Det ble samtidig registret en forskyvning av jordaksen på ca. 10cm. Som en kuriositet kan det nevnes at slike forandringer i jordaksen også vil påvirke tiden. Det er gjort beregninger som viser at det kraftige jordskjelvet i Chile i 2010 (8.8R) gjorde dagen 1.26μs kortere!

## 1.2.4 Transformasjon mellom datum

For å kunne regne om et punkts koordinater gitt i ett datum til koordinater i et annet datum, er det nødvendig å benytte en *koordinat-transformasjon*. En koordinattransformasjon er en matematisk eller grafisk overføring av punkter fra ett koordinatsystem til et annet etter entydige matematiske regler (transformasjons-formler). I praksis vil realiseringen av de fleste datum være beheftet med unøyaktigheter. På grunn av dette vil det som regel ikke eksistere noen eksakt matematisk sammenheng mellom koordinater gitt i to datum. Dette medfører at en transformasjon vanligvis kun gjelder tilnærmet. Transformasjonsformlene bestemmes ut fra en tilpasning mellom koordinater i de to koordinatsystemene. Flere transformasjonsmetoder er i bruk, og nedenfor nevnes to av de mest aktuelle metodene:

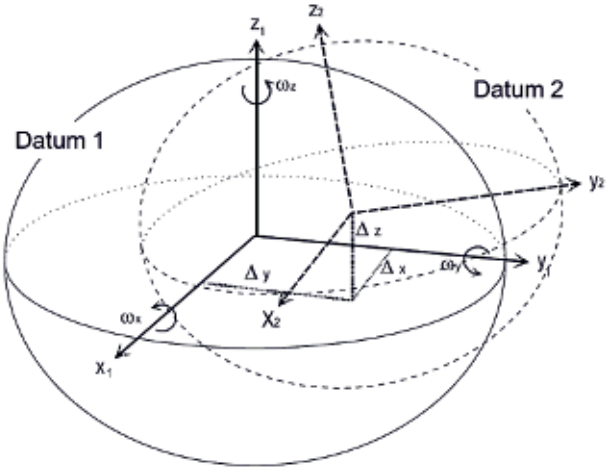
*1. Ordinær romlig transformasjon (romlig Helmert-transformasjon)*

I en ordinær romlig transformasjon benyttes maksimalt 7 parametere (fig. 1.21). Disse beskriver forskyvninger (Δx, Δy, Δz i meter), rotasjoner (ωx, ωy, ωz i radianer) og målestokks-forskjell (*s* i ppm) mellom to rettvinklede romlige koordinatsystemer. Dette innebærer at geodetiske koordinater må regnes om til rettvinklede (XYZ) koordinater før transformasjon. Denne typen transformasjon resulterer i en konform (likedannet) overføring av koordinater mellom to datum og transformasjons-formlene kan ikke kompensere for deformasjoner i koordinatsystemene.

*2. Polynombasert transformasjon*

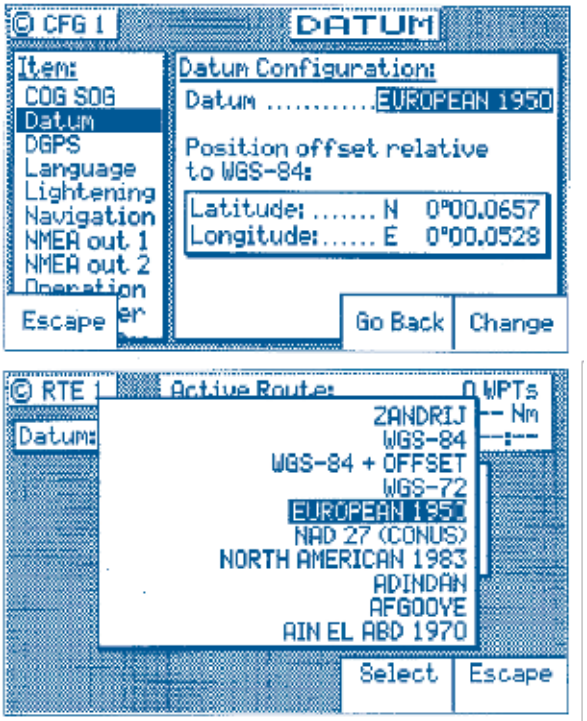
Et polynom av en gitt grad er en generell matematisk formel som kan benyttes til å beskrive hvordan koordinatene i to datum forholder seg til hverandre innenfor et avgrenset geografisk område. En polynombasert transformasjon kan til en viss grad kompensere for kjente deformasjoner i koordinatsystemene. Det er viktig at en polynombasert transformasjon ikke benyttes utenfor det området den er beregnet for.

I moderne navigasjonsmottagere og DP-system finnes også transformasjons-prosedyrer (fig. 1.22). Mange av disse er imidlertid basert på relativt enkle algoritmer og vil kunne være betydelig feil i enkelte områder. Transformasjon mellom datum i et lite geografisk område, f.eks. i et sjøkart i M = 1:50,000, kan være oppgitt som et skift i lengde og bredde. Størrelsen på et slikt skift vil varier ut fra posisjon, men vil kunne bli noen hundrede meter. Det er verd å merke seg at datum-forskyvningen (N/E) også vil avhenge av om koordinatsystemet er geografisk eller basert på UTM. Eksempel på et slikt dataumskift er vist på figur 1.23. Riktig transformasjon kan være svært kritisk når elektroniske kart kobles sammen med presise navigasjonssystemer og benyttes til «elektronisk» seilas.




***Figur 1.21***
***Eksempel på matematisk 7-parameters transformasjon mellom to datum.***

> ***Kjært barn med mange navn***
> *Det globale datumet WGS-84 som er grunnlaget for koordinatsystemet i GPS har mange like datum som for navigasjonsformål er tilnærmet identiske. Dette er ITRF, EPSG:4326, EUREF-89, NAD-83, etc.*
> ***Husk:*** *På grunn av kontinentaldrift har EUREF-89 frem til 2018 drevet 58cm.*




***Figur 1.22***
***Datuminnstilling på en GPS-mottager med meny for datumvalg og avvik til WGS-84. Under: Meny for datum på waypoint under ruteplanlegging.***

For å kunne beregne datumskift og forskjellige typer koordinater er det på markedet spesielle dataprogrammer som kan kjøres på en vanlig PC. Ofte vil slike programmer også kunne gjøre forskjellige typer distanse og kurs beregninger mellom forskjellige posisjoner. Eksempel på et slikt program er «GeoMath» som er vist i figur 1.24 (www.kagstrom.no).

Vær oppmerksom på at selv om flere lokale datum kan benytte samme referanseellipsoide, eksempelvis Hayford, vil datumskiftparameter til WGS-84 kunne være forskjellig. Dette henger sammen med at forskjellige lokale datum vil være forankret i forskjellige punkter på jorden.

### 1.2.5 Høydereferanse

I tillegg til standarder for lengde- og breddeangivelse vil det også være behov for å definere hva høyden måles i forhold til. I satellittnavigasjon vil man i utgangspunktet benytte ellipsoiden som referanse. Vi vil da måle høyden over ellipsoide. Legger vi til geoidehøyde vil vi få høyde over geoide. Dette gjøres oftest automatisk i mottagere med modell av geoidehøyden (EGM).