

ANALISIS KOMPARATIF PENENTUAN TINGGI DENGAN GPS DAN SIPAT DATAR

Oleh :

Amin Widada Lestariya, ST., M. Sc. dan Dadan Ramdani, ST¹

ABSTRAK

GPS heighting merupakan isu yang tetap menarik untuk dikaji. Tinggi (elipsoid) yang dihasilkan dari pengukuran GPS diharapkan bisa menggantikan atau setidaknya memberikan alternatif metode pengukuran tinggi konvensional sipat datar (levelling) yang mahal, time-consuming, dan tergantung pada ketersediaan infrastruktur jalan. Paper ini mencoba memberikan gambaran perbandingan teknis dan non-teknis kedua metode penentuan tinggi tersebut, baik pada jaringan yang bersifat lokal maupun regional. Mengingat data geoid di Indonesia masih sangat terbatas kualitasnya, maka metode perbandingan yang dipakai dalam studi ini tidak menggunakan data tersebut.

ABSTRACT

GPS heighting remains an interesting issue to explore. The height derived from GPS measurement (ellipsoidal height) is expected to be able to replace the high cost, time consuming, and highway-dependency of conventional method of leveling. These two height data acquisition methods are compared in this study, both on technical and non-technical aspects, in local network as well as in wider regional network. Since the Indonesian geoid data quality is still limited, those data will not be used in this comparative study.

Keywords : *GPS heighting, Leveling/sipat datar, Tinggi ellipsoid, Tinggi ortometrik*

PENDAHULUAN

Data tinggi ellipsoid (h) yang dihasilkan dari pengukuran GPS (Global Positioning System) telah lama menarik perhatian para peneliti dan praktisi survei pemetaan, untuk bisa dimanfaatkan secara praktis dengan menurunkannya menjadi tinggi ortometris (H) yang mengacu ke bidang geoid.

Pada umumnya para peneliti menggunakan metoda mengkonversi kedua sistem tinggi tersebut dengan memanfaatkan data undulasi geoid (N) melalui persamaan:

$H = h - N$ (untuk tinggi absolut), atau

$dH = dh - dN$ (untuk tinggi relatif)

Beberapa studi tentang pemanfaatan tinggi GPS yang telah dilakukan dengan menggunakan strategi di atas antara lain: Angelakis (1999), Dennis, M.L. and W.E. Featherstone (2002), Featherstone, W.E. and K. Alexander (1996), Featherstone, W.E,

¹ Amin Widada Lestariya dan Dadan Ramdani adalah Staf pada Balai Penelitian Geomatika – BAKOSURTANAL)

M.C. Dentith, J.F. Kirby (1998), Fotopoulos G. (2003), Hatjidakis, N. and D. Rossikopoulos (2002), Jäger R. (1999), Jäger R. and J. Kaminski (2003), Poutanen, M. (1999), Poutanen, M. (2000), dan Zilkoski D. B., J. D. D'Onofrio, S. J. Frakes (1997).

Khusus untuk kondisi di Indonesia, studi geoid teliti (berskala nasional) sampai saat ini belum bisa optimal karena adanya keterbatasan ketersediaan dan distribusi data gayaberas secara menyeluruh. Oleh sebab itu maka ketelitian geoid yang ada masih terlalu rendah dibandingkan ketelitian tinggi elipsoid yang bisa diperoleh, sehingga dua komponen ini belum bisa diaplikasikan untuk menghasilkan tinggi ortometrik dengan ketelitian yang diharapkan.

Strategi lain pemanfaatan tinggi elipsoid dari GPS yang memungkinkan tanpa "melibatkan" kebutuhan data undulasi geoid adalah dengan memfokuskan pada aspek tinggi relatif (beda tinggi) pada pengamatan GPS. Beberapa peneliti telah membahas strategi ini baik di tingkat teoretis maupun aplikasi praktis, misalnya: Abidin, H.A. (1999), King M., P. Clarke and C. Allinson (2003, Moore T., G. W. Roberts (2001), Phillips H. A., G. Hyland, P. Morgan, R. Coleman, N. Young (1997), serta Schöne, T., M. Pohl, H.W. Schenke (2000).

Penelitian tinggi GPS teliti yang dilaksanakan di BAKOSURTANAL tahun 2005 ini diharapkan adalah sebagai langkah awal aplikasi strategi pemanfaatan tinggi GPS tanpa "pelibatan" data geoid teliti. Penelitian ini menitikberatkan pada perbandingan antara selisih/beda tinggi elipsoid (Δh) terhadap nilai tinggi yang dianggap "benar" yaitu beda tinggi ortometrik (ΔH) yang diperoleh dari pengukuran sipat datar. Semakin kecil penyimpangan atau deviasi Δh terhadap ΔH pada titik/pilar TTG (Tanda Tinggi Geodesi) yang diamati oleh kedua metode pengukuran sipat datar dan GPS maka bisa dikatakan bahwa penentuan tinggi secara teliti dengan GPS semakin baik.

DATA

Studi ini mengambil sampel di dua jaringan GPS-TTG dengan rentang baseline yang berbeda, yaitu (1) jaringan GPS-TTG yang rentangnya mencapai ratusan kilometer di 10 titik yang tersebar di Lampung, Banten, dan Jawa Barat, serta (2) jaringan GPS-TTG yang bersifat lokal dengan rentang hanya beberapa kilometer di 16 titik yang berada di Prigi – Jawa Timur.

Data tinggi GPS diperoleh dari pengamatan GPS tipe geodetik (Leica SR520-530, Trimble 4000SSE dan Ashtech UZ-12). Untuk jaringan yang bersifat lokal (Prigi, Jawa Timur), pengamatan berlangsung antara 3-6 jam, dilaksanakan pada tahun 2004. Sedangkan jaringan regional yang lebih besar pengamatan berlangsung minimal 24 jam, dilaksanakan pada tahun 2002.

Data tinggi ortometrik diperoleh dari pengukuran sipat datar teliti yang dilakukan pada waktu yang bervariasi, yaitu pada tahun 1982 (Banten), tahun 1988 (Lampung), dan 2004 (Prigi, Jawa Timur).

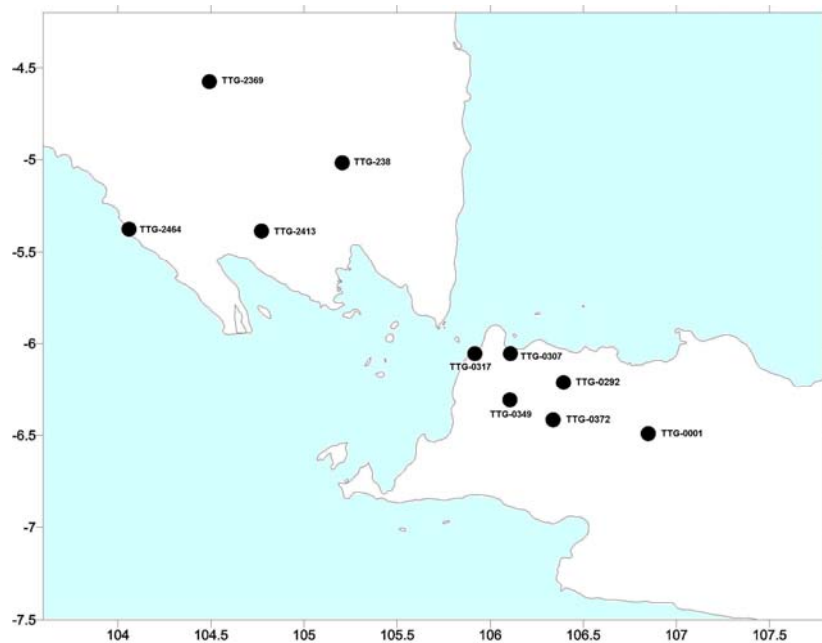
Data GPS dihitung dengan perangkat lunak *scientific Bernese Version 4.2* dari University of Berne, Swiss. Pada pengolahan data GPS ini digunakan informasi orbit *precise ephemeris* (berupa *IGS Final Orbit*) yang disediakan oleh IGS (*International GPS Service*) dan data penting lainnya yang harus disertakan dalam pengolahan menggunakan

bernese 4.2. Data tinggi (absolute) GPS yang diperoleh memiliki standar deviasi bervariasi antara 3-8 mm untuk jaringan regional, dan 15-60 mm untuk jaringan lokal.

Sebagai pembandingan, data GPS jaringan lokal juga diproses dengan perangkat lunak *commercial* TGO (Trimble Geomatics Office) Version 1.3. Namun demikian, data tinggi (absolute) GPS yang diperoleh dari proses ini memiliki standar deviasi yang jauh lebih kasar, yakni bervariasi antara 66-225 mm.

Data sipat datar dihitung secara manual dengan memperhitungkan koreksi-koreksi yang diperlukan untuk mendapatkan tinggi dalam sistem ortometrik. Standar deviasi untuk nilai tinggi (absolut) ortometrik ini bervariasi dari 20-30 mm.

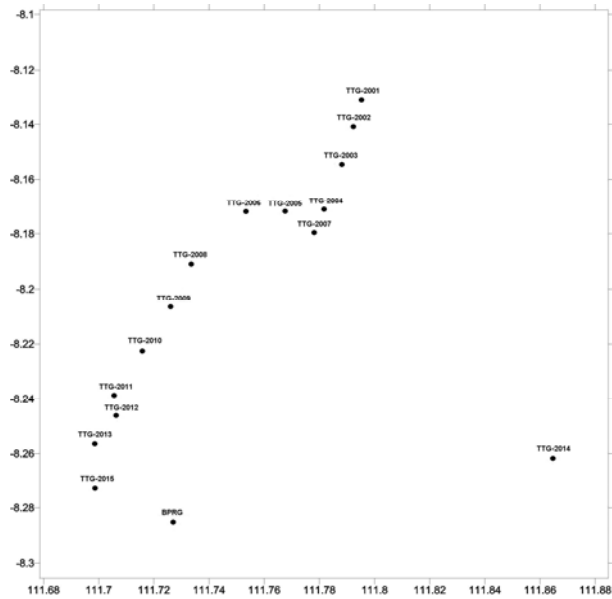
Data tersebut selengkapnya tersebut bisa di lihat di Gambar 1 dan 2, serta Tabel 1 dan 2 sebagai berikut :



Gambar 1. Distribusi stasiun sampel GPS-TTG Lampung-Banten-Jawa Barat

Tabel 1. Deskripsi data sampel GPS-TTG Lampung-Banten -Jawa Barat

No.	No Pilar	Tinggi Ortometrik/H (m)	Std Dev (m)	Tinggi Elipsoid/h (m)	Std Dev (m)	Lokasi
1	TTG-0001	138,4100	0,0000	158,1641	0,0000	Cibinong
2	TTG-0292	24,3300	-	42,1849	0,0046	Serang
3	TTG-0307	6,2480	0,0221	23,7555	0,0036	Serang
4	TTG-0317	2,0050	0,0230	18,2866	0,0083	Anyer
5	TTG-0349	214,8550	0,0218	267,6332	0,0070	Pandeglang
6	TTG-0372	99,9330	-	117,0699	0.0038	Rangkasbitung
7	TTG-2369	119,4990	0,0289	133,2682	0,0056	Blambangan Umpu
8	TTG-2384	41,4840	0,0308	57,4644	0,0047	Terbanggi Agung
9	TTG-2413	291,5290	0,0323	304,4060	0,0047	Sukabanjar
10	TTG-2464	4,2530	0,0302	10,2699	0,0055	Marang



Gambar 2. Distribusi stasiun sampel GPS-TTG Prigi, Jawa Timur

Tabel 2. Deskripsi data sampel GPS-TTG Prigi, Jawa Timur

No.	No Pilar	Tinggi Ortometrik/H (m)	Tinggi Elipsoid/h (m)	Std Deviasi 'h' (m)	Lokasi
1	TTG-2001	87,5010	142,3552	0,0354	Prigi-Jatim
2	TTG-2002	85,8230	140,9336	0,0601	"
3	TTG-2003	84,6220	139,6460	0,0530	"
4	TTG-2004	84,6480	139,6728	0,0440	"
5	TTG-2005	85,6640	140,6444	0,0378	"
6	TTG-2006	89,2810	143,8777	0,0000	"
7	TTG-2007	90,6590	145,3603	0,0000	"
8	TTG-2008	94,5170	149,1825	0,0257	"
9	TTG-2009	102,6340	157,0755	0,0379	"
10	TTG-2010	282,6930	337,1766	0,0157	"
11	TTG-2011	319,4780	373,8418	0,0153	"
12	TTG-2012	298,2960	352,6418	0,0214	"
13	TTG-2013	144,5220	198,7603	0,0337	"
14	TTG-2014	32,8830	87,0888	0,0299	"
15	TTG-2015	7,7400	61,9323	0,0316	"
16	BPRG	2,2580	56,1109	0,0192	"

HASIL PERHITUNGAN

Dari data tinggi absolut masing-masing stasiun yang tersaji pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas, dihitung beda tinggi (tinggi relatif) antar stasiun. Untuk jaringan I (Lampung-Banten-Jawa Barat), tinggi relatif antar stasiun mengacu ke stasiun TTG-0001, sedangkan pada jaringan II (Prigi, Jawa Timur) beda tinggi antar-stasiun mengacu ke stasiun sebelumnya, misalnya stasiun TTG-2002 ke TTG-2001, TTG-2003 ke TTG-2002, dan seterusnya.

Perhitungan ini menghasilkan beda tinggi antar stasiun baik dalam nilai ortome maupun geodetik. Perbandingan ini tersaji pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut :

Tabel 3. Tinggi Relatif/Beda Tinggi GPS-TTG Lampung-Banten-Jawa Barat

No.	No Pilar	Beda Tinggi Elipsoid/dh (m)	Beda Tinggi Ortometrik/dH (m)	Selisih dh - dH (m)
1	TTG-0001	0,0000	0,0000	0,0000
2	TTG-0292	-115,9792	-114,0800	1,8992
3	TTG-0307	-134,4090	-132,1620	-2,2466
4	TTG-0317	-139,8780	-136,4050	-3,4725
5	TTG-0349	109,4691	76,4450	33,0241
6	TTG-0372	-41,0942	-38,4770	2,6172
7	TTG-2369	-24,8959	-18,9110	-5,9849
8	TTG-2384	-100,7000	-96,9260	-3,7737
9	TTG-2413	146,2419	153,1190	-6,8771
10	TTG-2464	-147,8940	-134,1570	-13,7372

Tabel 4. Tinggi Relatif/Beda Tinggi GPS-TTG Prigi, Jawa Timur

No	No Pilar	Beda Tinggi Elipsoid/dh (m)	Beda Tinggi Ortometrik/dH (m)	Selisih dh - dH (m)
1	TTG-2001	-	-	-
2	TTG-2002	-1,4216	-1,678	0,2564
3	TTG-2003	-1,2876	-1,201	-0,0866
4	TTG-2004	0,0268	0,026	0,0008
5	TTG-2005	0,9716	1,016	-0,0444
6	TTG-2006	3,2333	3,617	-0,3837
7	TTG-2007	1,4826	1,378	0,1046
8	TTG-2008	3,8222	3,858	-0,0358
9	TTG-2009	7,8930	8,117	-0,2240
10	TTG-2010	180,1011	180,059	0,0421
11	TTG-2011	36,6652	36,785	-0,1198
12	TTG-2012	-21,2000	-21,182	-0,0180
13	TTG-2013	-153,8815	-153,774	-0,1075
14	TTG-2014	-111,6715	-111,639	-0,0325
15	TTG-2015	-25,1565	-25,143	-0,0135
16	BPRG	-5,8214	-5,482	-0,3394

ANALISIS KOMPARATIF

Tabel 3 memperlihatkan adanya penyimpangan/deviasi antara nilai beda tinggi elipsoid dengan pembandingnya yaitu nilai beda tinggi ortometrik. Untuk jaringan regional (Lampung-Banten-Jawa Barat), deviasi mencapai 1,9 hingga 33 meter. Deviasi ini masih terlalu besar apabila dibandingkan dengan "salah penutup jarak" yang diperbolehkan/disyaratkan dalam sebuah jaringan sipat datar orde paling kasar sekalipun (misalnya untuk jarak maksimal 300 km, salah penutup jarak berada dalam kisaran beberapa puluh cm) . Dengan kata lain, beda tinggi antar-stasiun yang dihasilkan dari pengamatan tinggi GPS masih berbeda jauh dari beda tinggi yang dihasilkan dari pengukuran sipat datar/levelling. Meskipun demikian beberapa faktor di luar kualitas pengukuran dan pemrosesan data (tinggi) GPS perlu dipertimbangkan juga sebagai kontributor besarnya deviasi, antara lain: lamanya rentang/selisih waktu antara pengamatan GPS (tahun 2003) dan pengukuran sipat datar (tahun 1982/1988) dimana memungkinkan terjadinya perubahan tinggi permukaan pilar, serta adanya fluktuasi undulasi geoid antara stasiun-stasiun yang jaraknya mencapai ratusan kilometer.

Sedangkan Tabel 4 memperlihatkan untuk jaringan lokal deviasi bervariasi dari 0.8 mm hingga 38 cm. Deviasi ini relatif lebih mendekati realitas syarat maksimal salah penutup jarak yang diperbolehkan dalam pengukuran sipat datar teliti dengan jarak antar-stasiun berkisar 2-3 km. Dengan kata lain beda tinggi antar-stasiun yang dihasilkan dari pengamatan tinggi GPS walaupun berbeda dari beda tinggi yang dihasilkan dari pengukuran sipat datar/levelling namun masih dalam besaran yang bisa diterima. Sebagai catatan adalah bahwa dari hasil pemrosesan data GPS-nya sendiri menghasilkan standar deviasi tinggi GPS dalam fraksi beberapa cm (lihat Tabel 2), yang mana sebetulnya hasil ini masih bisa ditingkatkan dengan menggunakan metoda pengamatan GPS yang lebih baik dan/atau tambahan lama pengamatan.

Seperti disinggung di awal, bahwa data GPS juga diproses dengan perangkat lunak tipe komersial. Walaupun ketelitian yang diperoleh tidak memuaskan (dengan standar deviasi komponen tinggi elipsoid berkisar 66-225 mm), tapi nilai beda tinggi/tinggi relatif antar-titiknya justru lebih baik dibandingkan dengan hasil prosesing data GPS menggunakan perangkat lunak *scientific*, yaitu berada dalam rentang 8 mm - 27 cm (lihat Tabel 5 di bawah).

Tabel 5. Perbandingan Tinggi Relatif/Beda Tinggi GPS-TTG Prigi, Jawa Timur, yang diperoleh dari pengolahan data GPS dengan perangkat lunak *scientific* dan *commercial*

No.	No Pilar	Selisih dh – dh (<i>scientific software</i>) (m)	Selisih dh – dh (<i>commercial software</i>) (m)
1	TTG-2001	-	-
2	TTG-2002	0,2564	0,212
3	TTG-2003	-0,0866	-0,076
4	TTG-2004	0,0008	-0,232
5	TTG-2005	-0,0444	0,008
6	TTG-2006	-0,3837	-0,099
7	TTG-2007	0,1046	0,047
8	TTG-2008	-0,0358	-0,114
9	TTG-2009	-0,2240	-0,112
10	TTG-2010	0,0421	0,024
11	TTG-2011	-0,1198	-0,191
12	TTG-2012	-0,0180	-0,131
13	TTG-2013	-0,1075	0,031
14	TTG-2014	-0,0325	0,033
15	TTG-2015	-0,0135	-0,148
16	BPRG	-0,3394	-0,268

ANALISIS COST

Dari segi biaya operasional, walaupun tidak bisa dideskripsikan secara detil, namun jelas terlihat bahwa pengukuran dengan GPS jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pengukuran tinggi menggunakan metode/alat sipat datar. Apabila faktor *cost* untuk tenaga/juru ukur dan peralatan dianggap relatif sama, maka penghematan bisa dilakukan pada faktor waktu survei lapangan yang dibutuhkan. Pada jaringan lokal Prigi, Jatim misalnya, pengukuran GPS hanya membutuhkan waktu 2 (dua) hari, sedangkan pengukuran sipat datar membutuhkan waktu 10-14 hari kerja.

PENUTUP

Dari hasil penelitian ini bisa disimpulkan sementara bahwa pada jaringan berskala lokal pengukuran tinggi (relatif) GPS bisa diaplikasikan untuk menggantikan metoda sipat datar/levelling dengan beberapa persyaratan, antara lain:

- Pengukuran memakai receiver GPS type geodetik
- Pengukuran menggunakan prosedur dan lama pengamatan yang optimal
- Pengolahan data dengan perangkat lunak teliti (*scientific software*)

Sedangkan untuk jaringan berskala regional berjarak ratusan kilometer, metoda *GPS-heighting* belum memberikan ketelitian yang diharapkan.

Pada penelitian ini jaringan berskala puluhan kilometer (10-100 km) tidak bisa dilaporkan karena tidak tersedianya data yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.A. (1999): *Monitoring Sea Level using GPS*, Proceeding International Seminar on Application of Seawatch Indonesia Information System for Indonesian Marine Resources Development, March 10-11, 1999, BPPT, Jakarta.
- Angelakis, N. (1999): *Mt. Kilimanjaro Expedition 1999 GPS Data Processing and Evaluation of the ITRF-Position and Height of Mt. Kilimanjaro*, Paper presented at the First Workshop on GPS and Mathematical Geodesy in Tanzania (Kilimanjaro Expedition 1999), October 4, 1999.
- Brondeel, M., *Experiences with Atmospheric Pressure Loading and GPS Vertical Estimates*, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Dennis, M.L. and W.E. Featherstone (2002): *Evaluation of Orthometric and Related Height Systems Using a Simulated Mountain Gravity Field*, Proceedings of Third Meeting of the International Gravity and Geoid Commission, Thessaloniki, Greece, August 26-30, 2002.
- Featherstone, W.E., K. Alexander (1996): *An Analysis of GPS Height Determination in Western Australia*, the Australian Surveyor.
- Featherstone, W.E, M.C. Dentith, J.F. Kirby (1998): *Strategies for the Accurate Determination of Orthometric Height from GPS*, Survey Review, 34, 267.
- Featherstone, W.E. (2002): *Toward the Unification of the Australian Height Datum between the Mainland and Tasmania Using GPS and AUSGeoid98*, Geomatics Research Australasia (in press).
- Fotopoulos G. and M.G. Sideris, *On the Estimation of Variance Components Using GPS, Geoid and Levelling Data*, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada
- Fotopoulos G. (2003): *An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric and Ellipsoidal Height Data*, PhD thesis, Department of Geomatics Engineering Calgary, Alberta,
- Hatjidakis, N. and D. Rossikopoulos (2002): *Orthometric Heights from GPS: The Integrated Approach*, Proceedings of Third Meeting of the International Gravity and Geoid Commission, Thessaloniki, Greece, August 26-30, 2002.
- Inter-governmental Committee on Surveying and Mapping/ICSM (2002): *Standards and Practices for Control Surveys (SP1) Version 1.5*, ICSM Publication No. 1, May 2002.
- Jäger R. (1999): *State of The Art and Present Developments of a General Concept for GPS-Based Height Determination*, Paper presented at the First Workshop on GPS and Mathematical Geodesy in Tanzania (Kilimanjaro Expedition 1999).

- Jäger R. and J. Kaminski (2003): *GPS-Heighting Based on the Concept of a Digital Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics*, 2nd Common Baltic Symposium, GPS Heighting and National-wide Permanent GPS Reference Systems, Riga, June 12 – 13, 2003.
- King M., P. Clarke and C. Allinson (2003): *The Ups and Downs of GPS Heighting in Britain – part 1: Ocean Tide Loading*, School of Civil Engineering and Geosciences, University of Newcastle upon Tyne, Engineering Surveying Showcase October 2003, pp. 20-21.
- Moore T., G. W. Roberts (2001): *River Level Monitoring Using GPS Heighting - Phase 2*, BNSC Space Foresight Programme, Science Systems (Space) Ltd., the Centre for Ecology and Hydrology, London.
- Mulcare D.M, *Introduction to Geodesy with an emphasis on GPS for Height Determinations*, document of National Geodetic Survey State Advisor to Maryland.
- Prikryl M., *Comparing Trigonometric Determining of Height Differences (TDHD) and GPS (Global Positioning System) in Local Networks*,
- Phillips H. A., G. Hyland, P. Morgan, R. Coleman, N. Young (1997): *Comparison of ERS altimeter and GPS heights on the Amery Ice Shelf, East Antarctica*, Proceedings of the 3rd ERS Scientific Symposium, Florence, Italy, ESA Publication ESA SP-414, 3 Volumes, May 1997.
- Poutanen, M. (1999): *Use of GPS in Unification of Vertical Datums and Detection of Levelling Errors*, In: *Geodesy and Surveying in the Future - the Importance of Heights*, Proceedings of the Seminar, March 15-17, 1999. (Ed. M. Lilje) Reports in Geodesy and Geographical Information Systems, 1999:3. Lantmäteriverket, Gävle. 301-312.
- Poutanen, M. (2000): *Sea Surface Topography and Vertical Datums Using Space Geodetic Techniques*, Dissertation and Report No.128, Publications of the Finnish Geodetic Institute, Helsinki.
- Schöne, T., M. Pohl, H.W. Schenke (2000): *GPS and Tide Gauge Measurements: A Contribution for the Vertical Datum Determination in Antarctica*, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany.
- Zilkoski D. B., J. D. D'Onofrio, S. J. Frakes (1997): *Guidelines for Establishing GPS-Derived Ellipsoid Heights (Standards: 2 cm and 5 cm) Version 4.3*, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58, Silver Spring, MD.