

Mikoviny Sámuel

Földtudományi Doktori Iskola

a doktori iskola vezetője:

Dr. h. c. mult. Dr. Kovács Ferenc

egyetemi tanár

a MTA rendes tagja

**ÚJ GEOFIZIKAI, TÁVÉRZÉKELÉSI ÉS FOTOGRAMMETRIAI EREDMÉNYEK A SARKVIDÉKI
TERÜLETEK KUTATÁSÁNAK SZOLGÁLATÁBAN**

**APPLICATION OF GEOPHYSICS, PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING FOR POLAR
RESEARCH: AN INTERDISCIPLINARY STUDY**

Doktori értekezés tézisei

Csathó Beáta

okl. geofizikus mérnök

okl. alkalmazott matematikus

dr. univ geofizikus

Kutatóhely: Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Geofizikai Tanszék

Tudományos vezető: Dr. Dobróka Mihály

Columbus, Ohio, USA, 2003.

Bevezetés, a kutatás előzményei és célkitűzései

Földünk jelentős részét borítja állandó vagy időszakos hó- és jégtakaró. A szárazföldek mintegy 10 %-át fedi állandó szárazföldi jég, azaz gleccserek és jégárak, valamint Grönland és Antarktisz jégtakarója. A sarkvidéki területek belföldi jégtakarójának térfogata 33 millió km³. Ha ez a jégtömeg elolvadna, a világtengerek szintje közel 70 m-t emelkedne. Az éves átlagos csapadékmennyiség Grönland és Antarktisz jégtakarója felett együttesen mintegy 6,5 mm tengerszint változásnak felel meg. Nyilvánvaló tehát, hogy a csapadékmennyiség és a jégtakaróból a tengerekbe visszatérő vízmennyiség egyensúlyának akárcsak kismértékű felbomlása jelentős szerepet játszhat a világtengerek szintjének jelenleg megfigyelt 1,8 mm/év változásában.

Bolygónk átlag hőmérséklete az utolsó jégkorszak óta folyamatosan emelkedik. Ez a felmelegedés az 1990-es évek közepétől felgyorsult, valószínűleg azért, mert az üvegházhatást okozó gázok (széndioxid, metán, nitrogen dioxidjai és klorofluorokarbonok, CFC) mennyiségének növekedése megváltoztatta a Föld-atmoszféra rendszer egyensúlyát. A Kormányközi felmérés a klímaváltozásról - Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - című jelentés szerint a Föld átlaghőmérsékletének 1,4-5,8 °C-os növekedésére és a tengerszint 0,09-0,48 méteres emelkedésére számíthatunk a következő évszázadban. Ez utóbbi legvalószínűbb értéke (a modellszámítások eredményének átlaga) 0,48 méter, ami a huszadik századbeli tengerszintváltozásnak 2-4-szerese. Ez a vízszint emelkedés még nem veszélyezteti előtéssel a tengerparti városok többségét, de károsítani fogja a tengerparti növény- és állatvilágot és az édesvíz készleteket és növeli a hurrikánok és nagyobb viharok pusztító hatását.

Grönland jégtömege az Antarktisszal ellentétben nem a pólus körül, hanem alacsonyabb szélességi körökön helyezkedik el és ezért érzékenyen reagál a klímaváltozásra. Amennyiben a jelenlegi trend folytatódik, a grönlandi jégtakaró részleges elolvadása 0,02-0,09 mm/év tengerszint emelkedést fog eredményezni a XXI. század folyamán. A modellszámítások alapján tartós, 3°C/évszázad vagy nagyobb arányú globális hőmérséklet emelkedés a grönlandi jégtakaró teljes elolvadásához vezethet egy évezred alatt.

A modellszámítások hibája meglehetősen nagy és a sarkvidéki területek kutatásának legfontosabb feladata ezen hibahatárok csökkentése. A korábban már említett IPCC jelentés hangsúlyozza a jégtakarók tömegmérlegek pontosabb becslésének és a jégtakarók, és gleccserek modellezésének fontosságát. Ezen folyamatok megismerése csak interdiszciplináris módon, a geofizika, geodézia, légkörkutatás és egyéb természettudományok együttes alkalmazásával lehetséges. Dolgozatomban ezirányú kutatásaim eredményeit foglalom össze.

I. Grönland jégtakarójának tömegmérlege

1993 és 1996 között egy NASA kutatócsoport tagjaként terepi méréseket végeztem a grönlandi jégtakaró középső részének tömegmérlegének meghatározására. A jégtakaró sebességét ismételt GPS mérekekkel határoztuk meg a jégtakaró központi részét körülölelő szelvény mentén, és légi radarmérések szolgálták a jégvastagság térképezésére (Sohn et al., 1994; Sonntag et al., 1997). A jégtakaró tömegmérlegének meghatározásához szükséges adatokat az általam vezetett kutatócsoport által kifejlesztett adatbázisban gyűjtöttük össze (Kim, et al., 2000; Csathó et al., 1999a). A tömegmérleg kiszámítására és elemzésére szolgáló eljárásokat IDL programozási nyelvben dolgoztam ki. Új, geostatistikai módszereken alapuló eljárást fejlesztettem ki a lehulló csapadék eloszlásának meghatározására jégmintákból és egyéb terepi megfigyelésekből (Csathó et al., 1997 és 1999a; Bromwich et al., 1998). Ez az új módszer, mely nemcsak a csapadéeloszlás eddiginél pontosabb becslését tette lehetővé, hanem a csapadéktérkép hibaeloszlásáról is információt szolgáltat, több részletes tanulmányban is felhasználásra került (Rignot et al., 2000; Bales et al., 2001; van der Veen et al., 2001).

A NASA által finanszírozott, nagyszabású kutatási program először tette lehetővé a jégtakaró egyensúlyának regionális megfigyelését. Eredményeink szerint Grönland középső része együttesen egyensúlyban van, bár a déli 'csúcs' körül a változás asszimmetrikus, a DNY-I lejtőkön jégtömeg növekszik, míg DK-en a olvadó jég mennyisége meghaladja a csapadékot (Thomas et al., 1997, 1998, 2000a, 2001).

II. Légi és műholdas lézeres mérések fejlesztése és alkalmazása

A légi és műholdas lézeres távmérési eljárások kifejlesztésével lehetővé vált a sarkvidéki területek domborzatának nagy pontosságú, regionális térképezése. Az elmúlt évtized során részt vettem a lézeres térképezési eljárások kifejlesztésében és új módszereket dolgoztam ki légi és műholdas mérések feldolgozására és értelmezésére. Az általam bevezetett eljárások alkalmasak hibás észlelések automatikus kijelölésére és digitális terepmodel szerkesztésére (Csathó et al., 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1996c, 2001c, 2003) illetve a felszín mikrotopográfiájának meghatározására a lézer jelalak inverziójával (Csathó és Thomas, 1995, 1996; Brenner et al., 1999). Ez utóbbi eredmények alapján dolgoztam ki azon eljárásokat, amelyek a tengeri jégtakaró vastagságának és mikrotopográfiájának térképezését teszik lehetővé az ICESat (Ice, Cloud, land and Elevation Satellite) lézeres térképező műhold méréseiből (Csathó és Thomas, 1996; Brenner et al., 1999). Munkatársaimmal új eljárásokat fejlesztettünk ki légi lézeres mérések feldolgozására, például geostatistikai módszereket alkalmaztunk a hófelszín érdességének meghatározására (van der Veen et al., 1998), és egy új inverziós eljárást fejlesztettünk ki légi és műholdas lézeres mérőrendszerek hitelesítésére (Filin et al., 1999, Filin és Csathó, 2000a, 2000b and 2002; Filin et al., 2001; Schenk és Csathó, 2001; Csathó et al., in press(c)).

Ezeket az új módszereket sikeresen alkalmaztuk a grönlandi jégtaaró domborzatának és különböző felszíni alakzatainak eddiginél pontosabb térképezésére (Csathó et al., 1996a, 1996b, 1996c) és a Nyugati Antarktisz Jégtaaró (West Antarctic Ice Sheet) legdinamikusabb részének, a Ross öbölbe torkoló jégáarak változásának megfigyelésére (Spikes et al., 1999, in press(a,b); Csathó et al., in press(c)). Lézeres méréseket alkalmaztunk periglaciális, glaciális, neotektonikus és vulkáni geomorfológia térképezésére is. Legújabb eredményeink arra utalnak, hogy ez az új technológia forradalmasíthatja a geomorfológiai térképezést (Csathó et al., 2003, in press(c); Lee et al., in press és Wilson et al. in press).

III. Távérzékelési eljárások alkalmazása a Kis Jégkorszak (Little Ice Age) óta bekövetkezett változások vizsgálatára

Az I. fejezetben (Grönland tömegmérlege) összefoglalt eredmények és egy kiterjedt légi lézeres felmérés alapján megállapítást nyert, hogy bár Grönland központi része egyensúlyban van, a jégtaaró peremi része folyamatosan veszít térfogatából. Az felszín süllyedése a partközeli területeken eléri, sőt meghaladja az évi egy métert és a jégtaaró peremi gleccserek többségét gyors olvadás és megnövekedett sebesség jellemzi.

Annak eldöntésére, hogy a jelenlegi változások egy, a Kis Jégkorszakban (Little Ice Age) kezdődött felmelegedést tükröznek, avagy a globális felmelegedés hatásának tulajdoníthatók, a grönlandi gleccserek vizsgálatát az elmúlt néhány évtizedről kiterjesztettük az 1850-es évekkel kezdőd időszakra. A múlt évszázadbéli jégtaaró térképezésére egy új eljárást fejlesztettem ki, mely a műholdfotók által hordozott spektrális információt hasznosítja a zuzmók elterjedésének térképezésére (Csathó and van der Veen, in press). A gleccserek Kis Jégkorszakbéli maximális magasságát a zuzmók mennyiségének hirtelen változása jelzi, mely a zuzmókhoz kapcsolódó spektrális anomália alapján térképezhető (van der Veen et al., submitted). A gleccserek 1960-as évekbéli kiterjedését és sebességét a közelmúltban nyilvánosságra hozott hírszerzési műholdfotók alapján határozzuk meg. Ezek a műholdfotók ún. panoramikus kamerával készültek. Az ilyen felvételek nagy horizontális felbontással rendelkeznek, de a képalkotás módja jelentősen torzítja a felvételt. A torzítás eltávolítására, egy a panoramikus kamera képalkotási modeljén alapuló inverziós eljárást fejlesztettünk ki (Csathó et al., 1999d, 2002a; Schenk et al., in press (a)).

Új módszereket fejlesztettem ki a különböző felvételek összehasonlítására és együttes elemzésére is (Csathó és Schenk, 1998; Csathó et al., 1999c; Schenk és Csathó, 2002, Schenk et al., in press (b)). Grönland két legdinamikusabban változó gleccserét, a Jakobshavns és a Kangerlussuaq gleccsert vizsgáltuk meg légi- és műholdfelvételek sorozatának elemzésével (Thomas et al., 2000b; Csathó et al., 2002b; van der Veen et al., in press; Abdalati et al., in press). Az előzetes eredmények azt jelzik, hogy a gleccserek változása nem folyamatos hanem 'lépcsőzetes', azaz egyensúlyi állapotot és ugrásszerű változások váltakoznak.

IV. Az aljzat geológiájának szerepe a jégtakarók és gleccserek viselkedésében

A gleccserkutatásban sokáig egyeduralgoló volt az a nézet, hogy a jégtömegek lassan reagálnak a környezetükben végbemenő változásokra. Az elmúlt évtizedekben felhalmozódott bizonyítékok azt jelzik, hogy mind a mai (Grönland és Antarktisz), mind a korábbi jégtakarók (pl. Észak-Amerikában a laurenciumi jégtakaró) meglepően gyorsan alkalmazkodhat a határfeltételek változásához. Ma már bizonyított, hogy az aljzat geológiája és geofizikai paraméterei (közettípus, geotermális gradiens, felszíni érdesség) fontos szerepet játszik a gleccserek mozgásának és változásának szabályzásában, de a jég-kőzet határfelület térképezésére irányuló eddigi kutatások szinte kizárólag Nyugat-Antarktisz területére korlátozódtak.

A különböző geofizikai paraméterek együttes értelmezésével kimutattam, hogy az aljzat geológiája Grönlandon is nagy szerepet játszik a jégtakaró domborzatának és mozgásának kialakításában. Légimágneses és gravitációs térképek, valamint szeizmikus állomások adatai alapján pontosítottam a különböző geológiai egységek határát a jéggel fedett területen. Eddigi vizsgálataim alapján valószínűsíthető, hogy Észak-Grönland jégárai a prekambriumi Franklinian medence területére korlátozódnak. Geofizikai bizonyítékok, például vízzel és levegővel kitöltött hasadékokat jelző anomáliák a radar felvételeken, vízzel kitöltött csatornák a jégtakaró alatt és korábbi jégmozgást nyomát megőrző felszíni gleccserhasadékok arra utalnak, hogy a jégtömeg viselkedése jelentősen megváltozott a nem túl távoli múltban. Jelenleg is folyó vizsgálataim célja a jéggel takart területek geológiájának részletes térképezése, és a jég-kőzet határfelület geofizikai paramétereinek meghatározása. A kutatás nemcsak a jelenlegi állapotok felmérését és a jövőbeli változások minél pontosabb becslését szolgálja, hanem arra a kérdésre is választ keres, hogy miért és hogyan alakulnak ki a jégtakarókon belül gyorsabban folyó jégfolyamok, az ún. jégárok (Csathó et al., 2001b; Braun et al., in press).

V. A Transzantarktikus hegység rift zónájának térképezése

Az Transzantarktikus hegység (Transantarctic Mountains, TAM) területe különös figyelmet érdemel, mivel itt az elmúlt néhány millió év alatt párhuzamosan és egymással kölcsönhatásban működtek a Földönket formáló erők, azaz a rift zónához kapcsolódó lemeztectonikus erők és vulkanizmus, valamint az antarktisi jégtakaró felszinformáló és mélybeli hatása.

Munkatársaimmal közösen a TAM regionális szerkezetét és vulkanizmusát tanulmányoztuk a Déli Viktoria Földön a TAMARA nemzetközi kutatási program keretében (Wilson et al., 1999; Felus and Csathó, 2000; Methakullachat et al., 2001; Wilson et al., 2001). A műholdfotók alapján készített regionális szerkezeti térkép es a légi mágneses mérések együttes értelmezésével vizsgáltam a TAM szerkezeti vonalainak eredetét. Ezenkívül a Júra korú Ferrar Dolerit Formáció szerkezetét térképeztem. A glaciológiai adatok alapján kimutattam, hogy a TAM kereszt irányú szerkezeti vonalai mentén a jégmozgás sebessége megnövekszik, jelezve, hogy az aljzatot könnyen

deformálódó kőzet építi fel, illetve, víz vagy vízzel telített gleccserüledék fedí az aljzatot (Csathó et al., 1999b, 2001a).

Az antarktisi lemezbeli stressz eloszlás a fúrások hiánya és az alacsony szeizmicitás miatt nagyrészt ismeretlen. A kainozoós vulkanitok térbeli elhelyezkedése közvetett információt szolgálhat, hiszen a vulkáni kitörések a kéregbeli stressz eloszlás által meghatározott törésszerkezetek mentén történnek. Jelenleg is folyó kutatásaink során légi geofizikai méréseket és távérzékelési adatokat értelmezek együttesen a vulkáni szerkezetek térbeli alakjának pontos térképezésére és a különböző kitörési fázisok lávafolyásainak lehatárolására (Csathó et al., in press (b); Wilson et al., in press). Tudomásom szerint elsőként használunk légi lézeres méréseket vulkáni területek térképezésére, és ezzel egy új, ígéretes technológiát vezetünk be a vulkáni-glaciális geomorfológiai kutatások területén.

Az eredmények összefoglalása

A sarkvidékek jéggel borított területének további kutatása a jövő fontos feladata. A geodinamikai és glaciológiai mérések értelmezése, a csatolt Föld-atmoszféra-óceán rendszer modellezése és a jövőben várható változások becslése csak a természettudományok különböző területein elért eredmények és a távérzékelés legújabb módszereinek együttes alkalmazásával lehetséges. A dolgozatomban bemutatott eredmények a sarkvidékek megértésére irányuló kutatáshoz járulnak hozzá, új feldolgozási módszerek kifejlesztésével, légi és műholdas távérzékelő rendszerek újszerű alkalmazásával és a geofizikai és gleccserkutatói eredmények ötvözésével.

Az értekezés témaköréből készült publikációk:

Sohn, H. G., K. C. Jezek, R. H. Thomas, K. Kuivinen, **B. Csathó**, 1994. Greenland ice sheet mapping with optical leveling and global positioning system. *BPRC Technical Report No. 94-03*, Byrd Polar Research Center, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 98 pages.

Csathó B. M., R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1995a. Mapping ice sheet topography with laser altimetry in Greenland. *Eos. Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl., pp. 194.

Csathó, B. M., A. F. Schenk, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1995b. Topographic mapping by laser altimetry. *Proceedings of SPIE*, **2572**, 10-20.

Csathó, B. M., and R. H. Thomas, 1995. Determination of sea ice surface roughness from laser altimetry waveform. *BPRC Technical Report No. 95-03*, 45 pages.

Csathó, B. M., A. F. Schenk, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1996a. Remote sensing of polar regions using laser altimetry. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **31(B/I)**, 42-47.

- Csathó, B. M.**, and R. H. Thomas, 1996. Determination of sea ice surface roughness from laser altimetry waveform. *Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium*, pp. 147.
- Csathó, B. M.**, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1996b. Mapping ice sheet topography with laser altimetry in Greenland. *BPRC Technical Report No. 96-01*, 53 pages.
- Csathó, B. M.**, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1996c. Mapping ice sheet topography with laser altimetry in Greenland. In *Glaciers, Ice Sheets and Volcanoes, A Tribute to Mark F. Meier*, ed. Samuel C. Colbeck, U. S. Army Corps of Engineers, Cold Region Research and Engineering Laboratory, 19-26.
- Csathó, B. M.**, H. Xu, R. Thomas, D. Bromwich, and Q-C. Chen, 1997. Comparison of accumulation and precipitation maps of the Greenland ice sheet. *Eos. Trans. AGU*, **78**(46), Fall Meet. Suppl., F9.
- Sonntag, J., C. Martin, W. Krabill, R. Thomas, and **B. Csathó**, 1997. GPS measurement of ice motion along the 2000-m elevation contour of the Greenland ice sheet. *Eos Trans. AGU*, **78**(46), Fall Meet. Suppl., F15.
- Thomas, R., **B. Csathó**, M. Fahnestock, P. Gogineni, K. Jezek, K. Kuivinen, and J. Sonntag, 1997. Mass balance of Greenland ice sheet. *Eos Trans. AGU*, **78**(46), Fall Meet. Suppl., F2.
- Csathó, B.**, and T. Schenk, 1998. Multisensor data fusion for automatic scene interpretation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32**(3/1), 60-65.
- van der Veen, C. J., W. B. Krabill, **B. M. Csathó**, and J. F. Bolzan, 1998. Surface roughness on the Greenland ice sheet from airborne laser altimetry. *Geophysical Research Letters*, **25**(20), 3887-3890.
- Bromwich, D. H., R. I. Cullather, Q-s. Chen, and **B. Csathó**, 1998. Evaluation of recent precipitation studies for the Greenland Ice Sheet. *Journal of Geophysical Research*, **103**(D20), 26,007-26024.
- Thomas, R. H., **B. M. Csathó**, S. Gogineni, K. C. Jezek, and K. Kuivinen, 1998. Thickening of the western part of the Greenland ice sheet. *Journal of Glaciology*, **44**(148), 653-658.
- Roman, D. R., **B. Csathó**, K. C. Jezek, R. H. Thomas, W. B. Krabill, and K. Kuivinen, 1998. Gravity values measured on the Greenland ice Sheet. *BPRC Technical Report, 98-01*, 39 pages.
- Csathó, B.**, C. Kim and J. Bolzan, 1999a. Development of Greenland GIS database system. In *PARCA Report 1998* (W. Abdalati, ed.), NASA/TM-19999-209205, Greenbelt, MD, 80-84.
- Csathó, B.**, G. Ahn, and T. Wilson, 1999b. Structural mapping of the Transantarctic Rift Flank, Southern Victoria Land, from remote sensing data. *8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, Wellington, New Zealand, abstracts volume.

- Wilson, T., **B. Csathó**, D. Damaske, C. Finn, J. Behrendt, R. Bell and F. Ferraccioli, 1999. Transantarctic Mountains Aerogeophysical Research Activities [TAMARA]: A progress report. *8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, Wellington, New Zealand, abstract volume.
- Brenner, A. C., H. J. Zwally, C. R. Bentley, **B. M. Csathó**, D. J. Harding, M. A. Hofton, J.-B. Minster, J. L. Saba, R. H. Thomas, and D. Yi, 1999. Derivation of range and range distribution from laser pulse waveform analysis for surface elevations, roughness, slope and vegetation heights. *Geoscience Laser Altimeter System (GLAS), Algorithm Theoretical Basis Document*, version 2.0, NASA, Goddard Space and Flight Center, 87 pages.
- Filin, S., and **B. M. Csathó**, 1999. A novel approach for calibrating satellite laser altimeter systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32**(3 W14), 47-54.
- Spikes, B., **B. M. Csathó**, and I. Whillans, 1999. Airborne laser profiling of Antarctic ice stream for change detection. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32**(3 W14), 169-176.
- Csathó, B. M.**, T. Schenk, D.-C. Lee and S. Filin, 1999c. Inclusion of multispectral data into object recognition. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, (**7-4-3 W6**), 53-61.
- Csathó, B. M.**, J. F. Bolzan, C. van der Veen, T. F. Schenk, and D-C. Lee, 1999d. Surface velocities of a Greenland outlet glacier from high-resolution visible satellite imagery. *Polar Geography*, **23**, 71-82.
- Felus, Y. A, and **B. Csathó**, 2000. Multi-source DEM evaluation at the Antarctica, Transantarctic Mountains project. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32**(B1), 117-123.
- Kim, C., **B. Csathó**, R. Thomas, C. J. van der Veen, 2000. Studying and monitoring the Greenland ice sheet using GIS techniques. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32**(B7/2), 678-685.
- Thomas, R., T. Akins, **B. Csathó**, M. Fahnestock, P. Gogineni, C. Kim, and J. Sonntag, 2000a. Mass balance of the Greenland ice sheet at high elevations. *Science*, **289**(5478), 426-428.
- Rignot, E., G. Buscarlet, **B. Csathó**, S. Gogineni, W. Krabill and M. Schmeltz, 2000. Mass balance of the northeast sector of the Greenland Ice Sheet: a remote sensing perspective, *Journal of Glaciology*, **46**, 265-273.
- Thomas, R. H., W. Abdalati, T. Akins, **B. Csathó**, E. Frederick, P. Gogineni, W. Krabill, S. Manizade, and E. Rignot, 2000b. Substantial thinning of a major east Greenland outlet glacier. *Geophysical Research Letters*, **27**(9), 1291-1294.
- Filin, S., **B. Csathó**, 2000a. An algorithm and application for visualization and analysis of scanning laser altimeter data. *BPRC Technical Report 2000-01*, 29 pages.

- Filin, S., **B. Csathó**, 2000b. An efficient algorithm for the synthesis of laser altimeter waveform. *BPRC Technical Report 2000-02*, 27 pages.
- Filin S., **B. Csathó**, and T. Schenk, 2001. An analytical model for in-flight calibration of laser altimeter systems using natural surfaces. In *Proceedings of ASPRS 2001*, April 24-27, 2001, St. Louis, Missouri, published on CD-ROM.
- Thomas, R., **B. Csathó**, C. Davis, C. Kim, W. Krabill, S Manizade, J. McConnell, and J. Sonntag, 2001. Mass balance of higher-elevation parts of the Greenland ice sheet. *Journal of Geophysical Research*, 106(D24), 33,707-33,716 (2001JD900033).
- Bales, R. C., J. R. McConnell, E. Mosley-Thompson and **B. Csathó**, 2001. Historical and recent accumulation over the Greenland ice sheet. *Journal of Geophysical Research*, **106**(D24), 33,813-33,826 (2001JD900153).
- van der Veen, C. J., D. H. Bromwich, **B. M. Csathó**, and C. Kim, 2001. Trend analysis of Greenland precipitation. *Journal of Geophysical Research*, **106**(D24), 33,909-33,918 (2001JD900156).
- Schenk, T. and **B. Csathó**, 2001. Modellierung systematischer Fehler von abtastenden Laseraltimetern. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **5**, 361-373.
- Csathó, B.**, T. Wilson, J. Kiss, D. Damaske, and C. Finn, 2001a. Aeromagnetic constraints on Transantarctic Mountains rift flank. *Eos. Trans. AGU*, 82(20), Spring Meet. Suppl., Abstract GP42A-08.
- Csathó, B.**, Wilson, T., and C. J. van der Veen, 2001b. Investigation of geologic control on ice sheets using remote sensing imagery. *4th International Symposium on Remote Sensing in Glaciology, IGS*, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA, Abstract volume, pp. 23.
- Csathó, B.**, Y-R. Lee, T. Schenk, W. Krabill and J. McGarry, 2001c. Creation of high resolution Digital Elevation Models (DEM) of Ocean City and Assateague Island, MD. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **34**(W4), 31-35.
- Methakullachat, D., **B. Csathó**, T. Schenk, and T. Wilson, 2001. Orthorectification of DISP imagery over the Transantarctic Mountains using a rigorous black adjustment. *International Symposium on Remote Sensing in Glaciology, IGS*, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA, Abstract volume, pp. 16.
- Wilson, T. J., **B. Csathó**, T. S. Paulsen, C. Demosthenous, and Y. Felus, 2001. Space-time evolution of Antarctic volcanoes: a remote sensing approach. *GSA Annual Meeting*, November 5-8, 2001. Boston, MA, USA, abstract volume.
- Csathó, B.**, T. Schenk, S. Shin, and C. J. van der Veen, 2002a. Investigating long-term behavior of Greenland outlet glaciers using high resolution imagery. *Proceedings of IGARSS 2002*, published on CD-ROM.

- Schenk, T. and **B. Csathó**, 2002. Fusion of lidar data and aerial imagery for a more complete surface description. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **34**(3A), 310-317.
- Filin, S., and **B. Csathó**, 2002. Improvement of elevation accuracy for mass balance monitoring using in-flight laser calibration. *Annals of Glaciology*, **34**, 330-334.
- B. Csathó**, T. Schenk, S.W. Shin and C.J. van der Veen, 2002b. Investigating long term behavior of Greenland outlet glaciers using high resolution satellite and aerial imagery. *International Symposium of fast glacier flow*, IGS, June 10-14, 2002, Yakutat, Alaska, USA, abstract volume.
- Csathó, B.**, T. Wilson, T. Schenk, G. McKenzie, W. Krabill and C. Hallam, 2003. Geomorphologic mapping by airborne laser scanning in Southern Victoria Land, Antarctica. *9th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, September 8-12, 2003, Potsdam, Germany, page 59.
- Csathó, B.**, and C. J. van der Veen, in press (a). Mapping periglacial trimlines from multispectral satellite imagery. *PARCA Report*.
- Schenk, T., **B. Csathó**, S. W. Shin, in press (a). Rigorous panoramic camera model from DISP imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensin*.
- Spikes, V. B., **B. M. Csathó**, G. S. Hamilton and I. M. Whillans, in press (a), Thickness changes on Whillans Ice Stream and Ice Stream C, West Antarctica, derived from laser altimetry measurements. *Journal of Glaciology*.
- Spikes, V. B., **B. Csathó**, and I. Whillans, in press (b). Laser profiling over Antarctic ice streams: methods and accuracy. *Journal of Glaciology*
- Van der Veen, C. J., **B. Csathó** and C. Tremper, submitted. Trimline mapping from multispectral Landsat imagery. *Géographie Physique at Quaternaire*.
- Schenk, T., **B. Csathó**, and T. Wilson, in press (b). Multisensor fusion for improved 3-D modeling. *30th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE)*, November 10-14, 2003, Honolulu, Hawaii, abstract volume.
- van der Veen, C. J. and **B. Csathó**, in press. Investigating long-term behavior of Greenland outlet glaciers using high-resolution satellite and aerial imagery. *ISRSE*, November 10-14, 2003, Honolulu, Hawaii. abstract volume.
- B. Csathó**, T. Schenk, C.. Tremper and C. J. van der Veen, in press (b). Mapping glacial geomorphology by remote sensing. *ISRSE*, November 10-14, 2003, Honolulu, Hawaii. abstract volume.
- Lee, I., Y. Ahn, S-W. Shin, T. Yoon, T. Schenk and **B. Csathó**, in press. Generation of large-scale and high-resolution DEMs over Antarctica through LIDAR survey. *Asian Conference Remote Sensing 2003*, Nov. 3-7, 2003 in Busan, Korea. abstract volume.

B. Csathó, T. Schenk, K-I. Huh, I. V. B. Spikes, and W. Krabill, in press (c). ICESat calibration-validation and mass balance studies in Antarctica. *Eos. Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl..

T. Wilson, **B. Csathó**, T. Schenk, T. Paulsen and W. Krabill, in press. Airborne laser swath mapping of the Erebus Volcanic Province, Antarctica: New means to map structure of volcanic cinder cones and volcanic alignments. *Eos. Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl..

A. Braun, **B. Csathó**, C. J. van der Veen, T. Wilson, R. von Frese, J. Daniels, M. Bevis, C. K. Shum, in press. Greenland: A geophysical target for the International Polar Year. *Eos. Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl..

Abdalati, W., S. Manizade, Golder, **B. Csathó**, R. Thomas, W. Krabill, in press. Increase in flow rates of the Jakobshavns Isbræ, Greenland. *Eos. Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl..

Hazai és nemzetközi konferenciákon elhangzott előadások:

Csathó, B. M., A. F. Schenk, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1995. Topographic mapping by laser altimetry. *SPIE Conference on Remote Sensing and Reconstruction for Three-Dimensional Objects and Scenes*, 9-10 July, 1995, San Diego, CA, USA.

Csathó B. M., R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1995. Mapping ice sheet topography with laser altimetry in Greenland. *AGU Fall Meeting*, December 11-15, 1995, San Francisco, CA, USA.

Csathó, B. M., and R. H. Thomas, 1996. Determination of sea ice surface roughness from laser altimetry waveform. *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, July 8-12, 1996, Innsbruck, Austria.

Csathó, B. M., A. F. Schenk, R. H. Thomas, W. B. Krabill, 1996. Remote sensing of polar regions using laser altimetry. *18th ISPRS Congress*, July 1996, Vienna, Austria.

Csathó, B. M., H. Xu, R. Thomas, D. Bromwich, and Q-C. Chen, 1997. Comparison of accumulation and precipitation maps of the Greenland ice sheet. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, 1997, San Francisco, CA, USA.

Sonntag, J., C. Martin, W. Krabill, R. Thomas, and **B. Csathó**, 1997. GPS measurement of ice motion along the 2000-m elevation contour of the Greenland ice sheet. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, 1997, San Francisco, CA, USA.

Thomas, R., **B. Csathó**, M. Fahnestock, P. Gogineni, K. Jezek, K. Kuivinen, and J. Sonntag, 1997. Mass balance of Greenland ice sheet. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, 1997, San Francisco, CA, USA.

Csathó, B., and T. Schenk, 1998. Multisensor data fusion for automatic scene interpretation. *ISPRS Commission III Symposium on Object Recognition and Scene Classification from Multisensor and Multispectral Pixels*, July 6-10, 1998, Columbus, OH, USA.

- Csathó, B. M.**, T. Schenk, D.-C. Lee and S. Filin, 1999. Inclusion of multispectral data into object recognition. *ISPRS-EARSeL Workshop on Fusion of Sensory Data, Knowledge Sources and Algorithms for Extraction and Classification of Topographic Objects*, May 31-June 4, 1999, Valladolid, Spain.
- Csathó, B.**, G. Ahn, and T. Wilson, 1999. Structural mapping of the Transantarctic Rift Flank, Southern Victoria Land, from remote sensing data. *8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, July 5-9, 1999, Wellington, New Zealand.
- Wilson, T., **B. Csathó**, D. Damaske, C. Finn, J. Behrendt, R. Bell and F. Ferraccioli, 1999. Transantarctic Mountains Aerogeophysical Research Activities [TAMARA]: A progress report. *8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, July 5-9, 1999, Wellington, New Zealand.
- Filin, S., and **B. M. Csathó**, 1999. A novel approach for calibrating satellite laser altimeter systems. *ISPRS Workshop on Mapping Surface Structure and Topography by Airborne and Spaceborne Lasers*, November 9-11, 1999, La Jolla, CA, USA.
- Spikes, B., **B. M. Csathó**, and I. Whillans, 1999. Airborne laser profiling of Antarctic ice stream for change detection. *ISPRS Workshop on Mapping Surface Structure and Topography by Airborne and Spaceborne Lasers*, November 9-11, 1999, La Jolla, CA, USA.
- Felus, Y. A. and **B. Csathó**, 2000. Multi-source DEM evaluation at the Antarctica, Transantarctic Mountains project. *19th ISPRS Congress, Geoinformation for All*, 16-23 July, 2000, Amsterdam, The Netherlands.
- Kim, C., **B. Csathó**, R. Thomas, C. J. van der Veen, 2000. Studying and monitoring the Greenland ice sheet using GIS techniques. *International 19th ISPRS Congress, Geoinformation for All*, 16-23 July, 2000, Amsterdam, The Netherlands.
- Kiss, J. and **B. Csathó**, 2000. Antarktiszi légi mágneses adatok feldolgozása. *Magyar Geofizikusok Egyesületének Vándorgyűlése*. 2000. szeptember 15-16, Szolnok, Hungary.
- Filin S., **B. Csathó**, and T. Schenk, 2001. An analytical model for in-flight calibration of laser altimeter systems using natural surfaces. Annual Meeting of ASPRS, April 24-27, 2001, St. Louis, Missouri, USA, published on CD-ROM.
- Csathó, B.**, T. Wilson, J. Kiss, D. Damaske, and C. Finn, 2001. Aeromagnetic constraints on Transantarctic Mountains rift flank. *AGU Spring Meeting*, May 29- June 2, Boston, MA, USA.
- Csathó, B.**, Wilson, T., and C. J. van der Veen, 2001. Investigation of geologic control on ice sheets using remote sensing imagery. *4th International Symposium on Remote Sensing in Glaciology, IGS*, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA.

- Methakullachat, D., **B. Csathó**, T. Schenk, and T. Wilson, 2001. Orthorectification of DISP imagery over the Transantarctic Mountains using a rigorous black adjustment. *International Symposium on Remote Sensing in Glaciology*, IGS, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA.
- Csathó, B.**, T. Schenk, C. J. van der Veen, and S. W. Shin, 2001. Measurements of surface velocities of a Greenland outlet glacier from high resolution Declassified Intelligence Photographs. *4th International Symposium on Remote Sensing in Glaciology*, IGS, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA.
- Filin, S., and **B. Csathó**, 2002. Improvement of elevation accuracy for mass balance monitoring using in-flight laser calibration. *4th International Symposium on Remote Sensing in Glaciology*, IGS, June 4-8, 2001, College Park, MD, USA.
- Csathó, B.**, 2001. Application of airborne laser swath mapping to ice sheet mapping. NSF workshop on *Advanced methods of mapping geo-surficial processes*, July 23-25, Gainesville, FL, USA (meghivott előadó).
- Wilson, T. J., **B. Csathó**, T. S. Paulsen, C. Demosthenous, and Y. Felus, 2001. Space-time evolution of Antarctic volcanoes: a remote sensing approach. *GSA Annual Meeting*, November 5-8, 2001. Boston, MA, USA.
- B. Csathó**, T. Schenk, S.W. Shin and C.J. van der Veen, 2002. Investigating long term behavior of Greenland outlet glaciers using high resolution satellite and aerial imagery. *International Symposium of fast glacier flow*, IGS, June 10-14, 2002, Yakutat, Alaska, USA.
- Csathó, B.**, Terry Wilson, Kees van der Veen and János Kiss, 2002. Investigation of Geologic Control on Ice Sheets Using Airborne Geophysics and Remote Sensing. *REmote Views and Exploration of Antarctic Lithosphere Workshop: Tools for mapping the last continental frontier (REVEAL)*, August 5-8, 2002, Denver, CO, USA (meghivott előadó).
- Schenk, T. and **B. Csathó**, 2002. Fusion of lidar data and aerial imagery for a more complete surface description. *Commission III Symposium on Photogrammetric Computer Vision*, September 9-13, 2002, Graz, Austria.
- Csathó, B.**, 2002. Investigation of outlet glacier behavior by using LIDAR and imaging data. *3rd International Workshop on Mapping Geosurficial Processes Using Laser Altimetry*, October 7-9, 2002, Columbus, OH, USA.
- Csathó, B.**, 2003. Laser mapping of polar and alpine areas. *NSF Workshop to Discuss the National Center for Airborne Laser Mapping*, April 24-26, 2003, Gainesville, FL, USA. (meghivott előadó).
- Csathó, B.**, T. Wilson, T. Schenk, G. McKenzie, W. Krabill and C. Hallam, 2003. Geomorphologic mapping by airborne laser scanning in Southern Victoria Land, Antarctica. *9th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, September 8-12, 2003, Potsdam, Germany.

Schenk, T., **B. Csathó**, S. W. Shin, in press. Rigorous panoramic camera model from DISP imagery. *ISPRS Workshop on High Resolution Mapping from Space*, October 6-8, 2003, Hanover, Germany.

Lee, I., Y. Ahn, S-W. Shin, T. Yoon, T. Schenk and **B. Csathó**, 2003. Generation of large-scale and high-resolution DEMs over Antarctica through LIDAR survey. *Asian Conference Remote Sensing 2003*, Nov. 3-7, 2003 in Busan, Korea.

B. Csathó, T. Schenk, K-I. Huh, I. V. B. Spikes, and W. Krabill, 2003. ICESat calibration-validation and mass balance studies in Antarctica. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, San Francisco, CA, USA.

T. Wilson, **B. Csathó**, T. Schenk, T. Paulsen and W. Krabill, 2003. Airborne laser swath mapping of the Erebus Volcanic Province, Antarctica: New means to map structure of volcanic cinder cones and volcanic alignments. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, San Francisco, CA, USA.

A. Braun, **B. Csathó**, C. J. van der Veen, T. Wilson, R. von Frese, J. Daniels, M. Bevis, C. K. Shum, 2003. Greenland: A geophysical target for the International Polar Year. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, San Francisco, CA, USA.

Abdalati, W., S. Manizade, Golder, **B. Csathó**, R. Thomas, W. Krabill, 2003. Increase in flow rates of the Jakobshavns Isbræ, Greenland. *AGU Fall Meeting*, December 8-12, San Francisco, CA, USA.