



**ORKUSTOFNUN**

**Prófun á GPS-leiðsögutækjum í  
landmælingapunktum í nágrenni Reykjavíkur**

**Tómas Jóhannesson,  
Magnús Tumi Guðmundsson,  
Gunnar Þorbergsson**

**Greinargerð TJ-MTG-GÞ-90-03**

## PRÓFUN Á GPS-LEIÐSÖGUTÆKJUM Í LANDMÆLINGAPUNKTUM Í NÁGRENNI REYKJAVÍKUR

### 1. INNGANGUR

Þann 17. október 1990 fóru Gunnar Þorbergsson og Tómas Jóhannesson frá Orkustofnun, Magnús Tumi Guðmundsson frá Raunvísindastofnun og Hilmar Helgason frá Landhelgisgæslunni með 3 GPS-tæki og 1 Lóran í 5 landmælingapunkta í nágrenni Reykjavíkur. Tilgangur ferðarinnar var að prófa GPS-tækin og meta nákvæmni þeirra. Ferðin var farin vegna undirbúnings hraðamælinga á Síðujökli. Ef GPS-tækin reynast vel kemur til greina að hraðamælingarnar verði unnar með GPS-tækjum úr þyrlu.

Þann 23. október fóru Gunnar og Tómas aðra ferð í sömu punkta með eitt af GPS-tækjunum til þess að athuga betur nákvæmi GPS-mælinganna við aðrar aðstæður.

### 2. TÆKI

Til fyrri ferðarinnar voru fengin að láni 3 GPS-tæki auk þess sem Lóran frá Raunvísindastofnun var tekið með til gamans. Tækin voru:

1. Trimble TransPackGPS. GPS-handtæki með innbyggðu loftneti. Fengið að láni hjá Inga Bjarnason. Sýnir staðsetningu upp á 1/1000 úr mínútu í breidd og lengd.
2. Magellan NAV 1000M. GPS-handtæki á stærð við venjulega borðreiknivél með innbyggðu loftneti. Fengið að láni hjá Landhelgisgæslu. Sýnir staðsetningu upp á 1/100 úr mínútu í breidd og lengd.
3. ShipMate RS 5300 Satellite Navigator. GPS-skipatæki með sjálfstæðu loftneti og sjálfstæðri stjórnuningu auk tækisins sjálfs. Fengið að láni hjá Friðrik A. Jónssyni. Sýnir staðsetningu upp á 1/1000 úr mínútu í breidd og lengd.
4. Loran JMC C-90. (keðja 7970, þ.e. Jan Mayen, Færeyjar, Snæfellsnes). Sýnir staðsetningu upp á 1/100 úr mínútu í breidd og lengd.

Trimble tækið er lítið fyrirferðar og lauflétt, borið í hliðartösku. Það reiknaði staðsetningu á 2-3 mínútum eftir að kveikt var á því. Það var fljótt að finna tunglin báða dagana og reiknaði greinilega hraðar en hin tækin. Það þurfti nokkurn veginn sama tíma til þess að reikna staðsetningu í öllum punktum í báðum ferðum.

Magellan tækið er minna en hin. Halda má á því í annari hendi. Við höfðum ekki haft tækifæri til að lesa um þetta tæki, og vera má að við höfum ekki farið um það réttum höndum. Það reiknaði staðsetningu á 3-15 mínútum eftir að kveikt var á því. Þegar líða tók á ferðina fór tækið að kvarta um lága spennu og var lengi að reikna/endurreikna staðsetningu. Þetta virðist ekki hafa haft áhrif á staðsetningarnákvæmni en gæti skýrt hversu lengi tækið var að finna tungl og reikna staðsetningu eftir að kveikt var á því í seinni hluta ferðarinnar. Staðsetning tók mislangan tíma í punktunum, upp í 10 mínútur áður en tækið fór að kvarta undan lágru spennu. Í Lambhaga náði tækið ekki að reikna staðsetningu á meira en 15 mínútum vegna lágrar spennu, en nokkru síðar náðist ágæt staðsetning við Korpúlfsstaði.

ShipMate tækið er ætlað fyrir báta eða skip og er mun meira um sig og þyngra en hin tækin. Við vorum ekki með það naglfast í bílnum, heldur bárum við tvo kassa og loftnet út úr honum í hvert sinn. Tækið reiknaði staðsetningu á u.þ.b. 10 mínútum eftir að kveikt var á því. Við Silungapoll hafði tenging losnað. Eftir að við festum hana lásam við á tækið, en hugsanlegt er að það hafi ekki verið búið að jafna sig eftir áfallið þegar staðsetningin við Silungapoll var ákvörðuð. Að jafnaði var tækið of lengi að skila niðurstöðum til að það henti í þyrlu.

Lóran tækið reiknaði staðsetningu á u.þ.b. 5-10 mínútum eftir að kveikt var á því. Við langbylgjustöðina á Vatnsendahæð datt Lóraninn út (vætanlega vegna langbylgjusendlinga frá stöðinni) og gaf enga staðsetningu.

### 3. MÆLINGAR

Fyrir mæliferðina héldum við að GPS-tækin gæfu mesta nákvæmni í láréttri staðsetningu ef hæð yfir sjó er gefin upp (2D hamur). Sum þeirra geta einnig reiknað hæð yfir sjó (3D hamur) en hún er fremur ónákvæm og háðari veðri en lárétt hnit. ShipMate tækið vinnur reyndar eingöngu í 2D ham. Öll tækin geta gefið staðsetningu miðað við Hjörsey, sem hægt er að bera saman við hnit í landsneti hér á landi.

Í fyrri ferðinni (17. okt) var hæð yfir sjó gefin upp til þess að fá sem mesta nákvæmni en Trimble tækið var jafnframt prófað í 3D ham í 2 punktum. Lesið var 5-10 sinnum af hverju tæki og reiknað meðaltal. Í seinni ferðinni (23. okt) var lesið 10 sinnum af Trimble tækinu í bæði 2D og 3D ham í öllum punktum. Auk þess var athugað hvaða áhrif skekkja í uppgefni hæð í 2D ham hefur á staðsetningarnákvæmni.

Veður var mjög gott í fyrri ferðinni, heiðskýrt og logn. Í seinni ferðinni var lágskýjað, hægviðri og ýrði úr lofti.

### 4. TÖFLUR

Fjöldi aflestra og meðaltal og staðalfrávik aflestra koma fram í töflum á næstu síðum. Efst í hverri töflu er staðsetning í landsneti, síðan eru mælingar úr fyrri ferðinni 17. okt, næst mælingar með Trimble úr seinni ferðinni 23. okt og að lokum mælingar með Trimble í 2D ham með rangt uppgefni hæð þar sem slíkar mælingar voru gerðar í seinni ferðinni. Staðalfrávik er gefið upp í sviga á eftir hverju meðaltali breiddar og lengdar í einingunni 1/1000 úr mínútu. Hæð er gefin upp í m.y.s. og staðalfrávik hennar í m. Aftan við sumar staðsetningar í töflunum eru athugasemdir frá tækjunum, þ.e. fjöldi tungla og nákvæmni fyrir Trimble og staðsetningareinkunn, auðkenni tungla og  $H_d = \text{HDOP}$  ("horizontal dilution of precision") frá ShipMate.

Í síðustu töflunni er samantekt yfir allar mælingarnar ásamt útreikningum á staðsetningarskekkju þeirra.

### 5. NIÐURSTÖÐUR

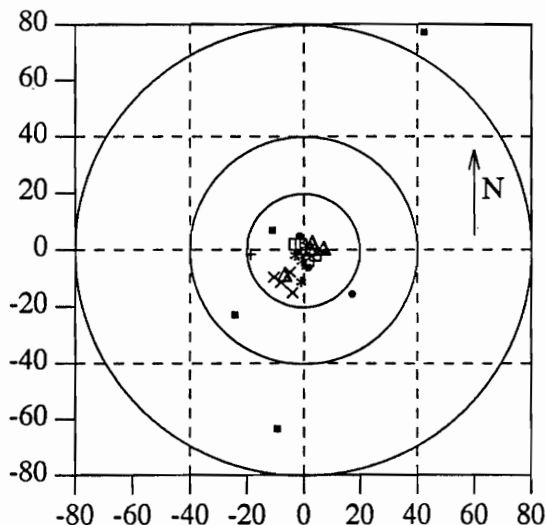
Ef álestri á ShipMate tækið við Silungapoll (3) er sleppt, sýna GPS-mælingar í 2D ham úr fyrri ferðinni ekkert marktækt frávik frá landsneti og meðalfrávik (staðalfrávik) mæl-

inganna eru 6 m fyrir Magellan, 6 m fyrir ShipMate og 3 m fyrir Trimble. Við Silungapoll voru vandræði með loftnetstengingu ShipMate og er hugsanlegt að það valdi meiri skekkju í þeim punkti.

Sérstaklega voru mælingarnar með Trimble í fyrri ferðinni glæsilegar, þar sem ekkert frávik var yfir 4 m. Það er áreiðanleiki mælitækis (og þar með stærsta frávik í svona tilraun, fremur en meðalfrávik mælinga), sem mestu skiptir. Trimble-tækið var einnig mun fljótara að skila niðurstöðum en hin tækin. Aftur á móti leggur tækið of varfærnislegt mat á nákvæmni mælinganna ( $\pm 30$  m eða  $\pm 100$  m) og reiknar ekki eða sýnir ekki HDOP ("horizontal dilution of precision") eins og ShipMate gerir.

Mælingar með Trimble í 3D ham í fyrri ferðinni og mælingar seinni ferðarinnar sýna mun meiri frávik frá landsneti, að meðaltali 12 m fyrir 2D ham og 11 m fyrir 3D ham. Leiðréttingar á breidd eru allar jákvæðar og leiðréttingar á lengd eru flestar neikvæðar. Þetta stafar hugsanlega af veðri, en nákvæmni GPS-mælinga er m.a. háð hita, loftþyngd og rakastigi í lofthjúpunum. Meðaltals skekkja (staðalfrávik) allra GPS-mælinganna í báðum ferðum er 9 m (samaltals 26 mælingar). Nákvæmni mælinganna er því mun meiri en búast mátti við, en uppgefni nákvæmni tækjanna er  $\pm 20$ -30 m við góðar aðstæður. Það eykur vafalaust nákvæmni mælinganna að við tókum meðaltal margra aflestra. Mælingarnar benda til þess að lárétt skekkja í staðsetningum GPS-leiðsögutækja af þessari gerð sé  $\pm 10$ -20 m ef tekið er meðaltal nokkurra aflestra (sjá myndir á næstu blaðsíðu).

Það hefur ekki veruleg áhrif á lárétta skekkju hvort tækin eru í 2D eða 3D ham. Reyndar er skekkjan meiri í 2D ham en í 3D ham í seinni ferðinni. Þetta stafar sennilega af því að hæðin, sem tækið mælir í 3D ham inniheldur veðuráhrif og uppgefni hæð yfir sjó í 2D ham þvingar því tækið öðruvísi en æskilegast væri. Hins vegar skiptir skekkja í uppgefni hæð í 2D ham máli þannig að 10 m villa í hæð getur leitt til u.þ.b. 4 m hliðrunar í láréttri staðsetningu samkvæmt mælingunum. Þannig virðist betra að nota 3D ham nema hæðin sé þekkt upp á  $\pm 10$  m og veðurskýrði séu góð til þess að koma í veg fyrir hliðrun af völdum rangrar hæðar.



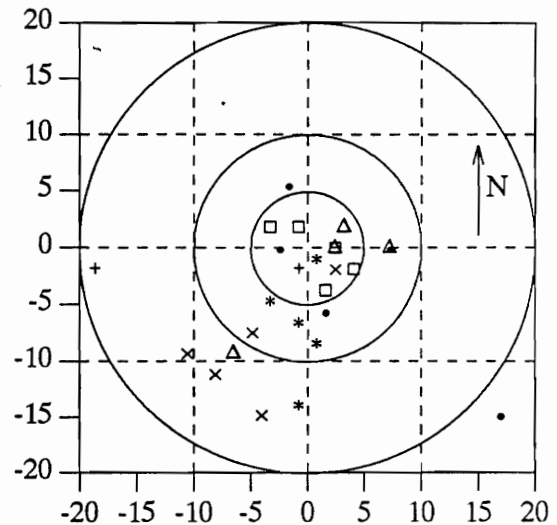
1. MYND: Frávik GPS-leiðsögutækja og Lórans (m) frá landsneti. Frávik í A-V stefnu eru sýnd á x-ás en frávik í N-S stefnu á y-ás. Tákn á myndinni hafa eftirfarandi merkingu:

- Lóran 17. okt
- △ Magellan 17. okt
- Trimble 17. okt
- × Trimble 23. okt
- ShipMate 17. okt
- + Trimble (3D) 17. okt
- \* Trimble (3D) 23. okt

Lárétt staðsetningarskekkja mælinganna er sýnd á myndunum hér að ofan. Á 1. mynd eru staðsetningar Lórantækisins hafðar með en á 2. mynd er þeim sleppt og notaður stærri mælikvarði. Myndirnar sýna staðsetningar tækjanna, miðað við að tilsvareandi landmælingapunktur sé í miðju myndarinnar, eins og staðsetningarnar hefðu verið merktar inn á kort. Alls 26 GPS-staðsetningar eru á hvorri mynd auk 4 Lóran-staðsetninga á 1. mynd. Allar GPS-staðsetningarnar nema 1 falla innan hrings með 20 m radíus sem dreginn er á báðum myndunum, og allar nema 7 falla innan hrings með 10 m radíus á 2. mynd.

Skekkja í hæðarákvörðun í 3D ham er að meðaltali (staðalfrávik) 19 m, en mest 41 m (samtals 7 mælingar). Flökt í hæðinni í 3D ham var mun meira en í lárétrtri staðsetningunni. Þessi skekkja er meiri en í mælingum með loftvog við góðar aðstæður.

Lórantækið sýndi verulega hliðrun í mælipunktunum, eins og búast mátti við, auk flökts sem bendir til u.þ.b. 30-50 m endurkomuskekkju. Samkvæmt mælingunum má með fastri leiðréttingu á Reykjavíkursvæðinu ná staðsetningarnákvæmni Lórans niður í 60-70 m (sjá 1. mynd). GPS-tækin hafa því mikla kosti umfram Lóran. Engin þörf er



2. MYND: Frávik GPS-leiðsögutækja (m) frá landsneti. Frávik í A-V stefnu eru sýnd á x-ás en frávik í N-S stefnu á y-ás. Tákn hafa sömu merkingu og á 1. mynd.

fyrir staðbundna leiðréttingu og bein staðsetningarskekkja er u.þ.b. 3 sinnum minni en endurkomuskekkja Lórans (sjá 2. mynd).

## 6. LOKAORÐ

Mæliferðirnar voru fróðlegar og sýndi okkur að GPS-leiðsögutæki eru nákvæmnari en við væntum (við landmælingar eru notuð tvö tæki og mun dýrari), en hún var ekki til þess að leggja endanlegt mat á þessi tæki.

Ýmsar spurningar vakna í framhaldi af þessari prófun.

1. Hvaða tæki eru fánleg?
2. Er hægt að bæta nákvæmni í 2D ham með því að gera veðurathuganir og nota leiðréttu hæð?
3. Er hægt að bæta nákvæmni í mælingum af þessu tagi með því að nota tvö tæki og hafa annað í þekktum punkti?
4. Við þurfum betri upplýsingar frá framleiðendum tækjanna ef fánlegar eru, sérstaklega varðandi geóíðu. Gera tækin ráð fyrir breytilegri geóíðuhæð yfir Íslandi eða nota þau fasta hliðrun miðað við viðmiðunarellipsóíðu?

## 7. STAÐSETNINGAR Í LANDMÆLINGAPUNKTUM

### 7.1 Valhúsahæð

Mælingar á Valhúsahæð (30 m.y.s.) stóðu frá 11:30 til 11:45 þann 17. okt. en 10:20 til 10:25 þann 23. okt. Hæðin 31 m.y.s. var notuð við staðsetninguna þann 17. okt. í stað 30 m.y.s. sem er hæð lesin af korti.

Tæki	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Hæð	$\sigma_h$	Athugasemdir
Landsnet		64°09.203'		21°59.601'		30		
Trimble	6	64°09.203'	(3)	21°59.598'	(7)			4 SV; ±30m
Magellan	6	.203'	(5)	.598'	(13)			
ShipMate	5	.200'	(1)	.599'	(1)			4A; 2P,9P,15P,21P; $H_d = 1.4$
Loran	10	.151'	(11)	.848'	(25)			
Trimble	10	64°09.202'	(2)	21°59.598'	(2)			4-5 SV; ±30m
Trimble (3D)	10	.202'	(3)	.600'	(8)	28	(8)	4-5 SV; ±30m

### 7.2 Vatnsendahæð

Mælingar á Vatnsendahæð (147 m.y.s.) stóðu frá 12:35 til 12:50 þann 17. okt en 10:50 til 10:55 þann 23. okt.

Tæki	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Hæð	$\sigma_h$	Athugasemdir
Landsnet		64°05.406'		21°49.338'		146.74		
Trimble	10	64°05.404'	(1)	21°49.336'	(3)			5 SV; ±30m
Magellan	7	.401'	(4)	.346'	(28)			
ShipMate	7	.406'	(1)	.341'	(1)			4A; 6P,11P,12P,15P; $H_d = 1.5$
Loran	0							kom ekki inn.
Trimble	10	64°05.400'	(1)	21°49.348'	(3)			5 SV; ±30m
Trimble (3D)	10	.403'	(1)	.342'	(1)	140	(2)	5 SV; ±30m

### 7.3 Silungapollur

Mælingar við Silungapoll (101 m.y.s.) stóðu frá 13:20 til 13:45 þann 17. okt. en 11:15 til 11:20 þann 23. okt.

Tæki	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Hæð	$\sigma_h$	Athugasemdir
Landsnet		64°05.025'		21°41.802'		101.04		
Trimble	11	64°05.024'	(3)	21°41.797'	(5)			6-7 SV; ±30m
Magellan	4	.025'	(6)	.793'	(5)			lág spennna; lengi inn
ShipMate	9	.017'	(1)	.781'	(2)			4B; 2P,9P,15P,21P; $H_d = 2.0$
Loran	9	04.897'	(14)	42.114'	(51)			
Trimble (3D)	9	05.024'	(2)	41.803'	(2)	104	(6)	6-7 SV; ±30m
Trimble	10	64°05.021'	(1)	21°41.808'	(3)			4-5 SV; ±30m
Trimble (3D)	10	.021'	(1)	.803'	(2)	93	(4)	5-6 SV; ±30-100m

### 7.4 Lambhagi

Mælingar við Lambhaga (89 m.y.s.) stóðu frá 14:15 til 13:30 þann 17. okt. en 11:45 til 11:50 þann 23. okt.

Tæki	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Hæð	$\sigma_h$	Athugasemdir
Landsnet		64°08.249'		21°45.107'		89.09		
Trimble	7	64°08.250'	(4)	21°45.108'	(5)			6 SV; ±100m
Magellan	0							lág spennna; kom ekki inn
ShipMate	5	.252'	(1)	.109'	(1)			3-4A; 2P,13P,21P; $H_d=1.5$
Loran	6	.143'	(10)	.437'	(21)			
Trimble	10	64°08.241'	(4)	21°45.112'	(5)			5-6 SV; ±30m
Trimble (3D)	10	.244'	(1)	.106'	(3)	75	(7)	5-6 SV; ±100m
Trimble (2D+)	3	64°08.267'	(2)	21°45.177'	(2)	(189)		189 m.y.s.; 5-6 SV; ±30m
Trimble (2D-)	3	.230'	(2)	.067'	(2)	(0)		0 m.y.s.; 5-6 SV; ±30m

### 7.5 Korpúlstaðir

Mælingar við Korpúlstaði (35 m.y.s.) stóðu frá 14:40 til 14:50 þann 17. okt. en 11:53 til 11:58 þann 23. okt. Það er hugsanlegt að röng hæð hafi verið notuð við 2D staðsetninguna með Trimble fyrri daginn en það er ekki öruggt. Það virðist ekki hafa haft áhrif á staðsetninguna.

Tæki	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Hæð	$\sigma_h$	Athugasemdir
Landsnet		64°09.426		21°45.147'		34.75		
Trimble	10	64°09.427'	(4)	21°45.151'	(9)			5 SV; ±100m
Magellan	3	.427'	(6)	.143'	(6)			lág spennna; lengi inn
ShipMate	7	.426'	(2)	.138'	(2)			4A-B; 2C,9P,12P,14P; $H_d=1.5$
Loran	8	.336'	(7)	.461'	(20)			
Trimble (3D)	6	64°09.425'	(4)	21°45.170'	(7)	76	(16)	
Trimble	10	64°09.421'	(1)	21°45.160'	(4)			5 SV; ±30m
Trimble (3D)	10	.418'	(1)	.148'	(2)	12	(14)	6 SV; ±100m
Trimble (2D+)	5	64°09.423'	(1)	21°45.159'	(2)	(45)		45 m.y.s.; 6 SV; ±30m
Trimble (2D-)	5	.419'	(1)	.151'	(2)	(25)		25 m.y.s.; 6 SV; ±30m

## 8. STAÐSETNINGARSKEKKJA MÆLITÆKJA

Í töflunni hér að neðan eru sýnd frávík allra mælinga frá réttum hnitum. Mælingunum er ráðað þannig að mælingar með sama tæki lenda saman.

Stærðirnar  $\Delta B$  og  $\Delta L$  í töflunni eru leiðréttingar á breidd og lengd í einingunni 1/1000 úr mínútu. Stærðin  $\Delta L'$  er  $\Delta L \cos B$ . Stærðirnar  $\Delta\Delta B$  og  $\Delta\Delta L'$ , sem eingöngu eru reiknaðar fyrir Lóran, eru leiðréttingar að frádregnum meðalleiðréttingum í mælipunktunum fjórum. Stærðin  $\Delta S$  í aftasta dálki er frávík einstakra mælinga frá réttri staðsetningu í metrum, nema hvað álestrar á Lóran hafa verið leiðréttir sem nemur meðalsskekkju í mælipunktunum fjórum. Eftir þá leiðréttingu er meðalfrávík Lórantækisins 67 metrar.

Neðst í töflunni eru mælingar með vitlaust uppgefinni hæð (Trimble (2D+)) og Trimble (2D-)) sem gerðar voru til þess að athuga hversu viðkvæmt tækið væri fyrir skekkju í uppgefinni hæð í 2D ham.

St.	Fj.	Breidd	$\sigma_b$	Lengd	$\sigma_l$	Leiðrétt til samræmis við landsnet					
						$\Delta B$	$\Delta L$	$\Delta L'$	$\Delta\Delta B$	$\Delta\Delta L'$	$\Delta S$
Loran:											
1	10	64°09.151	(11)	21°59.848	(25)	+52	-247	-108	-42	+23	89
3	9	64°04.897	(14)	21°42.114	(51)	+128	-312	-136	+34	-5	64
4	6	64°08.143	(10)	21°45.437	(21)	+106	-330	-144	+12	-13	33
5	6	64°09.336	(7)	21°45.461	(20)	+90	-314	-137	-4	-6	13
Magellan:											
1	6	64°09.203	(5)	21°59.598	(13)	0	+3	+1			2
2	7	64°05.401	(4)	21°49.346	(28)	+5	-8	-3			11
3	4	64°05.025	(6)	21°41.793	(5)	0	+9	+4			7
5	3	64°09.427	(6)	21°45.143	(6)	-1	+4	+2			4
ShipMate:											
1	5	64°09.200	(1)	21°59.599	(1)	+3	+2	+1			6
2	7	64°05.406	(1)	21°49.341	(1)	0	-3	-1			2
3	9	64°05.017	(1)	21°41.781	(2)	+8	+21	+9			22
4	5	64°08.252	(1)	21°45.109	(1)	-3	-2	-1			6
5	7	64°09.426	(2)	21°45.138	(2)	0	+9	+4			7
Trimble (2D) fyrri ferð:											
1	6	64°09.203	(3)	21°59.598	(7)	0	+3	+1			2
2	10	64°05.404	(1)	21°49.336	(3)	+2	+2	+1			4
3	11	64°05.024	(3)	21°41.797	(5)	+1	+5	+2			4
4	7	64°08.250	(4)	21°45.108	(5)	-1	-1	0			2
5	10	64°09.427	(4)	21°45.151	(9)	-1	-4	-2			4
Trimble (3D) fyrri ferð:											
3	9	64°05.024	(2)	21°41.803	(2)	+1	-1	0			2
5	6	64°09.425	(4)	21°45.170	(7)	+1	-23	-10			19
Trimble (2D) seinni ferð:											
1	10	64°09.202	(2)	21°59.598	(2)	+1	+3	+1			3
2	10	64°05.400	(1)	21°49.348	(3)	+6	-10	-4			13
3	10	64°05.021	(1)	21°41.808	(3)	+4	-6	-3			9
4	10	64°08.241	(4)	21°45.112	(5)	+8	-5	-2			15
5	10	64°09.421	(1)	21°45.160	(4)	+5	-13	-6			14
Trimble (3D) seinni ferð:											
1	10	64°09.202	(3)	21°59.600	(8)	+1	+1	0			2
2	10	64°05.403	(1)	21°49.342	(1)	+3	-4	-2			7
3	10	64°05.021	(1)	21°41.803	(2)	+4	-1	0			7
4	10	64°08.244	(1)	21°45.106	(3)	+5	+1	0			9
5	10	64°09.418	(1)	21°45.148	(2)	+8	-1	0			15
Trimble (2D +, hliðrun í hæð um +100m og +10m):											
4	3	64°08.267	(2)	21°45.177	(2)	-18	-70	-31			(66)
5	5	64°09.423	(1)	21°45.159	(2)	+3	-12	-5			(12)
Trimble (2D -, hliðrun í hæð um -89m og -10m):											
4	3	64°08.230	(2)	21°45.067	(2)	+19	+40	+17			(47)
5	5	64°09.419	(1)	21°45.151	(2)	+7	-4	-2			(13)