



Þyngdargildi grunnstöðva í Reykjavík

Hjálmar Eysteinnsson

Greinargerð HE-98-02

1998-8-14

Þyngdargildi grunnstöðva í Reykjavík

Þann 7.ágúst 1998 var gerð tenging milli þeirra þriggja fstmerkja í landsneti þyngdarmælinga sem enn eru eftir í Reykjavík. Þessi fastmerki eru á Skólavörðuholti (OS-5451), í kjallara Raunvísindastofnunar að Dunhaga 3 (OS-5450) og í kaffistofu stúdenta í aðalbyggingu Háskóla Íslands (OS-5473). Tilgangur þessara mælinga var að athuga hvort þyngd í þessum viðmiðunarpunktum hafi breyst eitthvað frá því að þeir voru síðast tengdir (1968), einkum vegna framkvæmda sem voru gerðar á Skólavörðuholti veturinn 1997/98, og vegna nýrrar byggingar við Raunvísindastofnun.

Mælt var með tveim mælum, annarsvegar með Lacosta Romberg mæli Orkustofnunar (L&R G-445) og hinsvegar með nýjum þyngdarmæli af Scintrex gerð (CG3M-711412) sem er í eigu Orkustofnunar, Raunvísindastofnunar, Landmælinga Íslands, Veðurstofnunar og Norrænu Eldfjallastofnunarinnar. Annar tilgangur mælinganna var að bera saman nákvæmni og afköst þessara tveggja mæla. Mælingarnar gerðu Hjálmar Eystinsson (HE), Magnús Tumi Guðmundsson (MTG) og Þórdís Högnadóttir (ÞH).

Mæliniðurstöður með Scintrex mæli eru sýndar í Töflu 1. Mælirinn mælir gildi á hverri sekúndu, og er meðaltal þyngdar (Grav) á hverri mínútu (þ.e. Dur=60 sekúndur) sýnd í töflunni ásamt staðalfrávik (SD). Mæligildin (Grav) eru í einingunum mGal og hafa verið leiðrétt vegna halla mælis sem sýnd eru í töflunni með Tilt x og Tilt y, í bog sekúndum, og eins vegna hitastigs í mælinum sem sýnt er með Temp í töflunni og er í mK (þ.e. 1000 partur úr °C). Í hverju fastmerki voru mældar um 10 sett af mínútu meðaltölum. Í hverjum mælipunkti er mæld hæð mælis (miðað við botn hans) frá efra borði bolta viðmiðunarpunkts (tafla 2). Engin bolti er þó í OS-5473 og er þá miðað við gólfflötin.

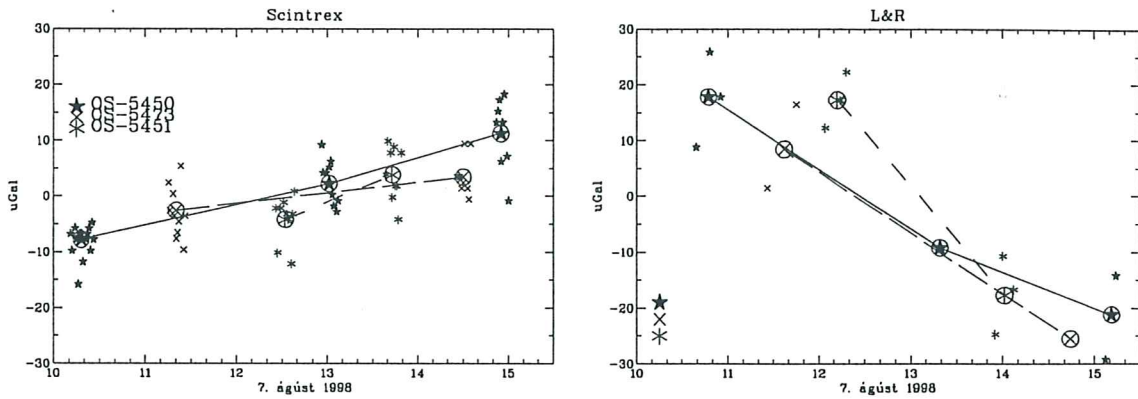
Mæliniðurstöður með L&R G-445 þyngdarmæli eru sýndar í töflu 3. Gildi lesinn af mæliskífu mælis eru merkt sem skífa, og aflestur af sjálfvirku núllstillingu (automatic feedback system) er merkt með LSD. Þessum tölum er breytt í mgal samkvæmt kvörðun mælis.

Við úrvinnslu mælinga er fyrst leiðrétt vegna hæðarmismunar mælis og fastmerkis samkvæmt $\Delta gh = 0.0030855 \cdot h$, þar sem h er í cm og Δgh í mgal. Síðan er leiðrétt fyrir áhrifum tunglþ og sól- ar (tidal leiðréting, Δgt), þar sem notað er þyngdarpotential Tamura (1987) með stuðlum (útslag og fasa) fyrir helstu tíðniþætti þyngdarsviðsins sem reiknaðir voru út frá mælingum sem gerðar voru í Reykjavík (Hjálmar Eysteinnsson 1996, óbirt gögn). Þessir stuðlar eru gefnir í töflu 4.

Leiðrétt mæligildi ($G = G_{\text{mælt}} + \Delta gh - \Delta gt$) er gefin í töflu 5. Í töflunni hefur verið reiknað út meðalgildi fyrir hvert sett af mælingum gerðum með Scintrex mælinum ásamt staðalfrávik meðaltalsins, og eru þær tölur sýndar með feitletruðum línunum í töflunni. Staðalfrávik meðaltalsins er reiknað samkvæmt:

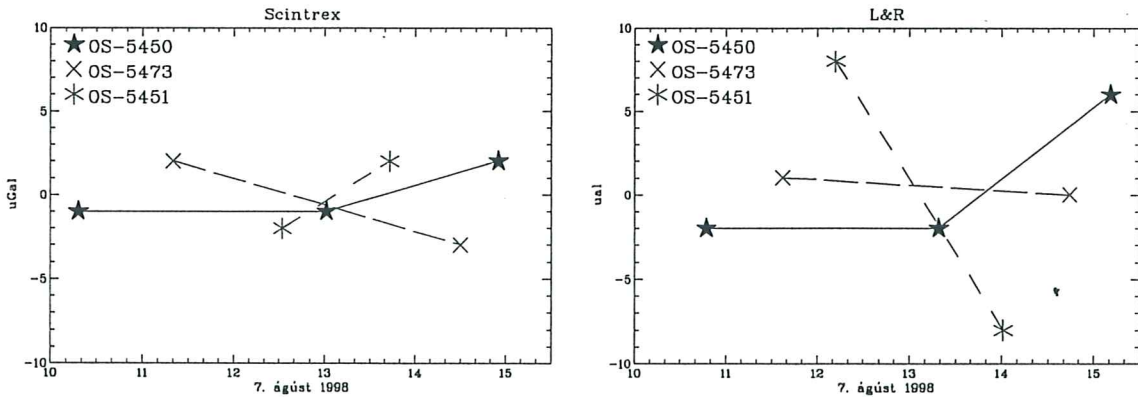
$$\overline{SD} = \frac{1}{N-1} \sqrt{\sum_{i=1}^{i=N} \sigma_i^2 / n_i}$$

þar sem σ_i er staðalfrávik mínútu söfnunar, með söfnunartíma 1 sekúnda ($n_i=60$), og N er fjöldi slíkra mínútu mælinga.



Mynd 1. Leiðréttar niðurstöður þyngdarmælinga í Reykjavík. Meðaltal hversrar stöðvar er dregið frá mælingu í sérhverri stöð. Hringir utan um tákn þýðir meðaltal hvers sett í mælipunktinum.

Mynd 1 sýnir niðurstöður mælinganna, þar sem meðaltal allra mælinga frá sérhverju fastmerki hefur verið dregið frá gildunum í töflu 5. Einnig eru sýnt á myndinni meðaltal hvers mælissetts og það táknad með hring utan um merkið. Á myndinni kemur fram nokkurt línulegt rek fyrir báða mælanna, og þegar búið er að leiðrétta fyrir því, sést á mynd 2 hver dreifing meðaltalsgildanna er. Mæligildi með Scintrex mælinum gefa gildi sem eru innan við $\pm 3 \mu\text{gal}$; en L&R mælirinn gefur gildi sem eru innan við $\pm 9 \mu\text{gal}$, sem er reyndar óvenjugott fyrir þann mæli.



Mynd2 Niðurstöður meðaltala í hverjum mælipunkti, þegar búið er að leiðrétta fyrir reki mæla. Meðalgildi hversrar stöðvar er dregið frá mælingu í sérhverri stöð.

Tafla 6

Þyngdargildi í fastmerkjum í Reykjavík (mGal), miðað við óbreytt gildi í OS-5473.

Stöð	Uppgefið gildi (*)	Mælt 7/8/1998 með SC3M	Mælt 7/8/1998 L&R
OS-5473	982264.959	982264.959	982264.959
OS-5450	982264.785	982264.778	982264.756
OS-5451	982258.785	982258.786	982258.792

(*) Samkvæmt Gunnari Þorgberssyni o.fl. 1990.

Ef gert er ráð fyrir að þyngd hafi ekkert breyst í fastpunkti OS-5473, þ.e. í kjallara aðalbyggingar Háskóla Íslands, fást þyngdargildin í töflu 6. Niðurstöður með Scintrex mæli sýnir óbreyttan þyngdarmun milli OS-5473 og OS-5451 eins og hann var mældur 1968 (einungis munar 1 μ gal), en OS-5450 mælist 7 μ gal lægri. Ef hinsvegar er miðað við mælingar með L&R mæli, er OS-5451, 7 μ gal hærri, sem er innan óvissumarka þessa mælis, en þyngd í OS-5450 er 29 μ gal lægri en hann ætti að vera samkvæmt mælingunum frá 1968. Niðurstöðurstaðan er því sú að þyngdarmunur milli OS-5473 og OS-5451 er óbreyttur frá því sem hann var, en þyngd í OS-5450 hefur lækkað lítisháttar.

Árið 1987 var gerð bein (absolute) þyngdarmæling í kjallara Raunvísindastofnunnar (sama herbergi og OS-5450 er í), og þær mælingar tengdar (relative) við OS-5450. Niðurstöðan gefur 982264.775 mgal (Torge o.fl 1992), sem er í góðu samræmi við mælinguna með Scintrex mælinum hér að ofan. Samkvæmt þessu er uppgæfin þyngd fyrir OS-5450, í grunnstöðvarneti þyngdarmælinga (Gunnar Þorbegsson o.fl. 1990) um 10 μ gal of há, en OS-5473 og OS-5451 nærri réttu lagi.

Samkvæmt ofanskráðum mælingum er nákvæmni og afköst Scintrex mælisins, talsvert betri en L&R mælisins. Með Scintrex mælinum voru, í hverju fastmerki, mæld um 10, 60 sekúnda meðaltöl, og er staðlfrávik meðaltals þessara 10 mælinga innan við 3 μ gal. Mælt staðlfrávik hverrar 60 sekúnda mælingar er að meðaltali 50 μ gal, sem þýðir að staðlfrávik meðaltals hverrar slíkrar mælingar er um 7 μ gal ($50/\sqrt{60}$). Ekki er eins auðvelt að meta óvissur í mælingum með L&R mælinum þar sem hver einstök mæling tekur 3-6 mínútur og því nokkuð tímafrekt að búa til gagnasett til að reikna staðlfrávik einstakra mælinga, auk þess sem hver mæling væri ekki óháð (a.m.k. ef sami aðili mælir allar mælingarnar). Þó má búast við, út frá reynslu, að óvissa hverrar mælingar sé 10-30 μ gal. Ljóst er því að afköst og gæði mælinga með nýja Scintrex mælinum eru talsvert betri en með eldri mælinum. Þetta er í samræmi við athuganir annara aðili á samanburði þessara tveggja mælitækja (sjá t.d. Hugill 1990).

Heimildir

- Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon, og Guðmundur Pálmason, 1990. *Þyngdarmæligögn og þyngdarkort af Íslandi*. Orkustofnun, OS-90001/JHD-01, 50 s.
- Hugill, Andrew, 1990. *The Scintrex SC-3 Autograv Automated Gravity Meter, Description and Field Results*. Erindi á ráðstefnu SEG, San Francisco 1990.
- Tamura, Y., 1987. *A harmonic development of the tide generating potential*. Bulletin d'Informations Marees Terrestres no. 99, 6813-6855.
- Torge Wolfgang, Thomas Grote, Rudiger H. Roder, Manfred Schnull, Hans-Georg Wenzel, 1992. *Introduction of Absolute Travimetric Techniques into a High-Precision Gravity and Vertical Control System in Northern Iceland*. Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe B, Heft Nr. 297, ISSN 0065-5317, ISBN 3 7696 85814.

Tafla 1
Mæliniðurstöður með Scintrex mæli

SCINTREX V5.2 AUTOGRAV / Field Mode R5.21									
Ser No: 711412.									
Line:	0.	Grid:	0.	Job:	0.	Date:	98/08/07	Operator:	1.
GRAF.:	0. mGals		Tilt x sensit.:		287.3				
GCAL.1:	5753.855		Tilt y sensit.:		290.6				
GCAL.2:	0.		Deg.Latitude:		64.55				
TEMPCO.:	-0.1199 mGal/mK		Deg.Longitude:		-20.23				
Drift const.:	1.1024		GMT Difference:		0.hr				
Drift Correction Start Time:	09:29:47		Cal.after x samples:		12				
Date:	98/08/06		On-Line Tilt Corrected =		"*"				
Station	Grav.	SD.	Tilt x	Tilt y	Temp.	Dur	Rej	Time	
5450.	5984.521	0.046	-2.	-3.	-0.62	60	0	10:11:19	
5450.	5984.518	0.049	-3.	-3.	-0.62	60	0	10:12:29	
5450.	5984.521	0.045	-3.	-3.	-0.62	60	0	10:13:39	
5450.	5984.519	0.057	-3.	-3.	-0.62	60	0	10:14:49	
5450.	5984.510	0.051	-3.	-3.	-0.61	60	0	10:15:59	
5450.	5984.519	0.042	-3.	-3.	-0.61	60	0	10:17:09	
5450.	5984.518	0.049	-4.	-3.	-0.61	60	0	10:18:19	
5450.	5984.513	0.057	-4.	-4.	-0.61	60	0	10:19:29	
5450.	5984.516	0.057	-4.	-3.	-0.61	60	0	10:20:39	
5450.	5984.517	0.053	-4.	-4.	-0.60	60	0	10:21:49	
5450.	5984.517	0.055	-4.	-3.	-0.60	60	0	10:22:59	
5450.	5984.513	0.060	-4.	-4.	-0.60	60	0	10:24:09	
5450.	5984.517	0.064	-4.	-4.	-0.60	60	0	10:25:19	
5450.	5984.514	0.054	-5.	-4.	-0.60	60	0	10:26:29	
5473.	5984.688	0.043	0.	4.	-0.59	60	0	11:15:12	
5473.	5984.683	0.036	1.	4.	-0.58	60	1	11:16:22	
5473.	5984.685	0.058	1.	5.	-0.58	60	0	11:17:34	
5473.	5984.681	0.042	0.	6.	-0.57	60	0	11:18:44	
5473.	5984.677	0.064	0.	6.	-0.57	60	0	11:19:54	
5473.	5984.678	0.050	0.	7.	-0.57	60	0	11:21:04	
5473.	5984.679	0.051	-0.	7.	-0.56	60	0	11:22:14	
5473.	5984.688	0.046	-0.	7.	-0.57	60	0	11:23:24	
5473.	5984.673	0.055	-1.	8.	-0.56	60	0	11:24:34	
5473.	5984.679	0.057	-0.	8.	-0.56	60	0	11:25:44	
5451.	5978.502	0.055	-15.	-24.	-0.62	60	0	12:26:14	
5451.	5978.493	0.106	-7.	-9.	-0.62	60	4	12:27:24	
5451.	5978.501	0.055	-14.	-21.	-0.62	60	0	12:28:39	
5451.	5978.502	0.050	-11.	-16.	-0.62	60	0	12:30:59	
5451.	5978.500	0.049	-6.	-6.	-0.62	60	0	12:33:19	
5451.	5978.499	0.050	-10.	-14.	-0.62	60	1	12:34:29	
5451.	5978.490	0.057	-11.	-16.	-0.63	60	0	12:35:41	
5451.	5978.500	0.039	-14.	-21.	-0.64	60	0	12:36:51	
5451.	5978.504	0.046	-17.	-28.	-0.64	60	0	12:38:01	
5450.	5984.503	0.072	-4.	1.	-0.71	60	0	12:56:19	
5450.	5984.497	0.050	-4.	2.	-0.70	60	0	12:57:29	
5450.	5984.497	0.064	-4.	1.	-0.69	60	0	12:58:39	
5450.	5984.495	0.058	-4.	2.	-0.68	60	0	12:59:49	
5450.	5984.498	0.043	-4.	2.	-0.67	60	0	13:00:59	
5450.	5984.500	0.055	-4.	2.	-0.67	60	0	13:02:09	
5450.	5984.493	0.043	-3.	3.	-0.66	60	0	13:03:19	
5450.	5984.491	0.061	-4.	3.	-0.66	60	0	13:04:29	
5450.	5984.490	0.047	-4.	3.	-0.65	60	0	13:05:39	
5450.	5984.492	0.057	-3.	3.	-0.65	60	0	13:06:49	
5451.	5978.511	0.052	1.	7.	-0.63	60	0	13:39:15	
5451.	5978.517	0.053	2.	10.	-0.62	60	1	13:40:25	
5451.	5978.516	0.038	3.	12.	-0.62	60	0	13:41:37	
5451.	5978.508	0.047	5.	14.	-0.63	60	0	13:42:47	
5451.	5978.517	0.035	6.	16.	-0.63	60	0	13:43:57	
5451.	5978.510	0.049	6.	16.	-0.63	60	0	13:45:07	
5451.	5978.510	0.056	6.	17.	-0.64	60	0	13:46:17	
5451.	5978.505	0.051	6.	17.	-0.64	60	0	13:47:27	
5451.	5978.517	0.061	6.	17.	-0.65	60	2	13:48:37	
5473.	5984.688	0.049	-1.	9.	-0.71	60	0	14:25:50	
5473.	5984.688	0.045	-2.	6.	-0.69	60	0	14:27:56	
5473.	5984.687	0.050	-3.	6.	-0.68	60	0	14:29:06	
5473.	5984.688	0.050	-5.	8.	-0.67	60	0	14:30:16	
5473.	5984.695	0.053	-6.	8.	-0.66	60	0	14:31:26	
5473.	5984.688	0.050	-7.	9.	-0.66	60	0	14:32:36	
5473.	5984.686	0.060	-7.	10.	-0.65	60	0	14:33:46	
5473.	5984.696	0.047	-8.	10.	-0.65	60	0	14:34:56	
5450.	5984.526	0.050	6.	1.	-0.69	60	0	14:51:34	
5450.	5984.528	0.049	5.	2.	-0.68	60	0	14:52:44	
5450.	5984.530	0.035	6.	3.	-0.66	60	0	14:53:54	
5450.	5984.520	0.059	6.	2.	-0.65	60	0	14:55:04	
5450.	5984.527	0.054	6.	2.	-0.64	60	0	14:56:14	
5450.	5984.532	0.047	5.	2.	-0.63	60	0	14:57:24	
5450.	5984.522	0.067	5.	2.	-0.63	60	0	14:58:34	
5450.	5984.514	0.055	5.	2.	-0.63	60	0	14:59:44	

Tafla 2

Hæð Scintrex mælis (botn) frá viðmiðunarpunkti.

Stöð	Tími	Hæð í cm
5450	10:11-10:26	16.5
5473	11:15-11:25	16.7
5451	12:26-12:38	15.5
5450	12:56-13:06	14.5
5451	13:39-13:48	14.5
5473	14:25-14:34	15.8
5450	14:51-15:00	15.0

Tafla 3

Mæliniðurstöður með L&R G-445

Stöð	Tími	Skífa	LSD	Hæð cm	Mælt af
5450	1039	5750.90	5	6.5	HE
5450	1048	5751.00	-70	6.5	MTG
5450	1055	5751.00	-78	6.5	ÞH
5473	1126	5751.00	65	8.0	HE
5473	1141	5751.00	67	8.0	MTG
5473	1145	5751.00	73	8.0	ÞH
5451	1204	5745.20	8	1.0	HE
5451	1214	5745.20	11	1.0	MTG
5451	1218	5745.20	14	1.0	ÞH
5450	1319	5750.91	-44	7.5	ÞH
5451	1355	5745.20	-22	1.0	HE
5451	1400	5745.20	-10	1.0	ÞH
5451	1407	5745.20	-14	1.0	HE
5473	1444	5751.10	-40	8.0	HE
5450	1507	5751.10	-203	7.5	HE
5450	1514	5751.00	-104	7.5	HE

Tafla 4

Stuðlar notaðir við útreikninga á þyngdaráhrifum tungls og sólar

Tíðnibil CPD	Útslag	Fasi °	Heiti	Númer tíðnibáttar	
0.000000	0.000147	1.15000	0.0000	long	1-4
0.000162	0.249951	1.20423	-0.1640	LONG	5-285
0.721500	0.906315	1.08835	-2.44701	Q1	282-424
0.921941	0.940487	1.09401	0.38468	O1	425-482
0.958085	0.974188	1.09090	2.98619	M1	483-530
0.989049	1.011099	1.11243	1.33539	K1	531-585
1.013689	1.044800	1.15542	-1.05175	J1	586-626
1.064841	1.216397	1.02849	-2.42542	OO1	627-731
1.719381	1.837970	1.16835	4.93501	ESP2	732-785
1.853920	1.872142	1.17362	24.84181	2N2	787-830
1.888387	1.906462	1.41696	18.43640	N2	831-880
1.923766	1.942754	1.49824	11.80465	M2	881-936
1.958233	1.976926	1.36012	6.31726	L2	937-975
1.991787	2.182843	1.51036	0.16596	S2	976-1108
2.753244	3.937897	1.25873	1.65827	M3	1109-1200

Tafla 5

Leiðrétt mæligildi ($G=G_{mælt} + \Delta gh - \text{DELTA}g$) Feitletraðar línur sýna meðaltal hvers mælisetts ásamt staðlfrávikni meðaltalsins.

CG3M-9711412					L&R G-445		
Stöð	Tími kl og min	Afstæð þyngd mGal	Staðalfrávik mGal	Fjöldi	Stöð	Tími kl og min	Afstæð þyngd mGal
5450	1011	5984.570	0.046				
5450	1012	5984.567	0.049				
5450	1014	5984.571	0.045				
5450	1015	5984.569	0.057				
5450	1016	5984.561	0.051				
5450	1017	5984.570	0.042				
5450	1018	5984.570	0.049				
5450	1019	5984.565	0.057				
5450	1021	5984.569	0.057				
5450	1022	5984.570	0.053				
5450	1023	5984.571	0.055				
5450	1024	5984.567	0.060		5450	1039	6034.486
5450	1025	5984.572	0.064		5450	1048	6034.503
5450	1026	5984.569	0.054		5450	1055	6034.495
5450	1018	5984.569	0.002	14	5450	1047	6034.495
5473	1115	5984.762	0.043				
5473	1116	5984.757	0.036				
5473	1118	5984.760	0.058				
5473	1119	5984.756	0.042				
5473	1120	5984.752	0.064				
5473	1121	5984.753	0.050				
5473	1122	5984.755	0.051				
5473	1123	5984.765	0.046		5473	1126	6034.685
5473	1125	5984.750	0.055		5473	1141	6034.691
5473	1126	5984.756	0.057		5473	1145	6034.700
5473	1120	5984.757	0.002	10	5473	1137	6034.692
5451	1226	5978.586	0.055				
5451	1227	5978.578	0.106				
5451	1229	5978.586	0.055				
5451	1231	5978.587	0.050				
5451	1233	5978.585	0.049				
5451	1234	5978.584	0.050				
5451	1236	5978.576	0.057		5451	1204	6028.521
5451	1237	5978.585	0.039		5451	1214	6028.526
5451	1238	5978.589	0.046		5451	1218	6028.531
5451	1232	5978.584	0.003	9	5451	1212	6028.526
5450	1256	5984.586	0.072				
5450	1257	5984.581	0.050				
5450	1259	5984.581	0.064				
5450	1300	5984.579	0.058				
5450	1301	5984.582	0.043				
5450	1302	5984.583	0.055				
5450	1303	5984.577	0.043				
5450	1304	5984.575	0.061				
5450	1306	5984.574	0.047				
5450	1307	5984.576	0.057		5450	1319	6034.468
5450	1301	5984.579	0.002	10	5450	1319	6034.468
5451	1339	5978.592	0.052				
5451	1340	5978.598	0.053				
5451	1342	5978.596	0.038				
5451	1343	5978.588	0.047				
5451	1344	5978.597	0.035				
5451	1345	5978.590	0.049				
5451	1346	5978.590	0.056		5451	1355	6028.484
5451	1347	5978.584	0.051		5451	1400	6028.498
5451	1349	5978.596	0.061		5451	1407	6028.492
5451	1343	5978.592	0.002	9	5451	1401	6028.491
5473	1426	5984.763	0.049				
5473	1428	5984.763	0.045				
5473	1429	5984.761	0.050				
5473	1430	5984.762	0.050				
5473	1431	5984.769	0.053				
5473	1433	5984.761	0.050				
5473	1434	5984.759	0.060				
5473	1435	5984.769	0.047		5473	1444	6034.658
5473	1430	5984.763	0.002	8	5473	1444	6034.658
5450	1452	5984.590	0.050				
5450	1453	5984.592	0.049				
5450	1454	5984.594	0.035				
5450	1455	5984.583	0.059				
5450	1456	5984.590	0.054				
5450	1457	5984.595	0.047				
5450	1459	5984.584	0.067		5450	1507	6034.448
5450	1500	5984.576	0.055		5450	1514	6034.463
5450	1455	5984.588	0.003	8	5450	1511	6034.456