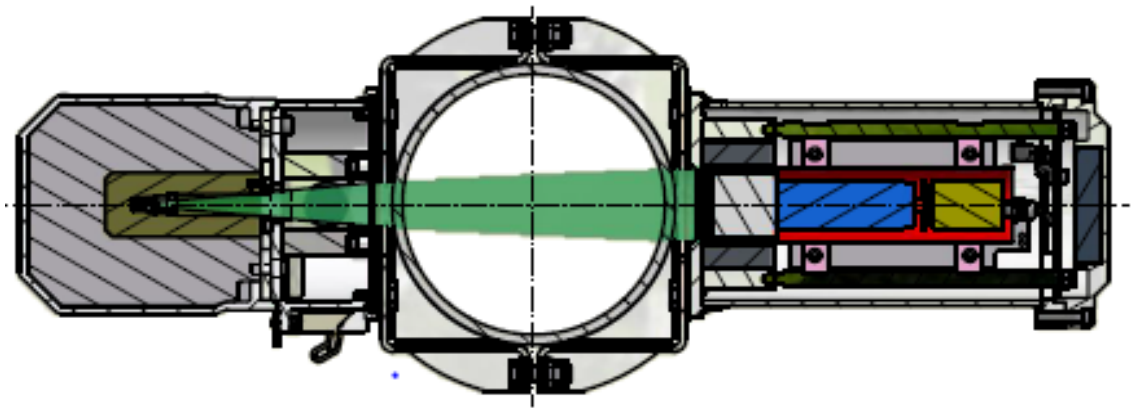
# Radiometrisk densitetsmåling- også på eksport olje?

16.03.2018 PVW

# Måleprinsipp, radiometrisk densitetsmåler



Radiometriske densitetsmålere består av en kildeholder/kilde, som sender en kollimert stråle gjennom målemediet mot detektoren.

Kildeaktivitet tilpasses hver applikasjon for best signal/støy forhold.

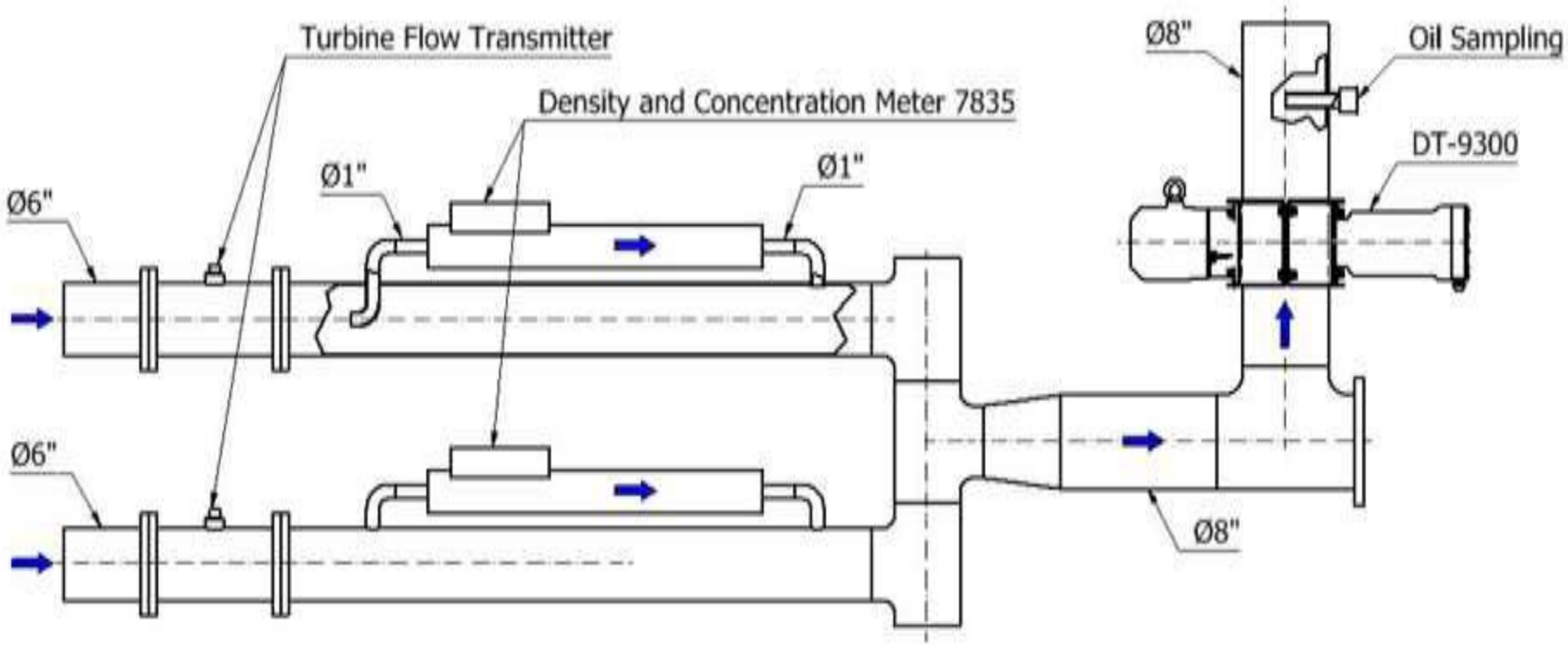
Detektorsystemet konverterer strålingsintensiteten som ikke er absorbert i mediet til et elektrisk pulssignal.

Signalfrekvensen er proporsjonal med målemediets densitet (spesifikk vekt).

# Felt-test, Radiometrisk densitetsmåler

- En standard “clamp-on” densitetsmåler type DT-9315 (DT) ble testet på export- olje på BP Ula fra 28 mai til 5 oktober,2015, i et samarbeide mellom BP Norge og Sensor Technology AS (S-Tec). På grunn av vedlikeholdsstopp i juli ble effektiv testperiode 105 døgn.
- Testen ble iverksatt basert på følgende målsettinger:
  - Etablering av en kostnadseffektiv metode for verifikasjon av funksjonaliteten til installert målesystem for densitet.
  - Avklaring av hvorvidt en radiometrisk densitetsmåler kan tilfredstille krav til presisjon og repeterbarhet i applikasjoner på eksport-olje
- Før felt-testen ble måleren testet i lab hos S-Tec, og kalibrert mot tilsendt 3 part analysert olje fra BP.

# Strømningssløyfe konfigurasjon




Testen er gjennomført ved sammenlikning av resultatene fra 1 av 2 “fast loop, by-pass” Solartron 7835 målere (SOL), benyttet i sekvenser. Massetransport gjennom disse er drevet av differansetrykk fra sampling til retur.

# Installasjon /signalbehandling

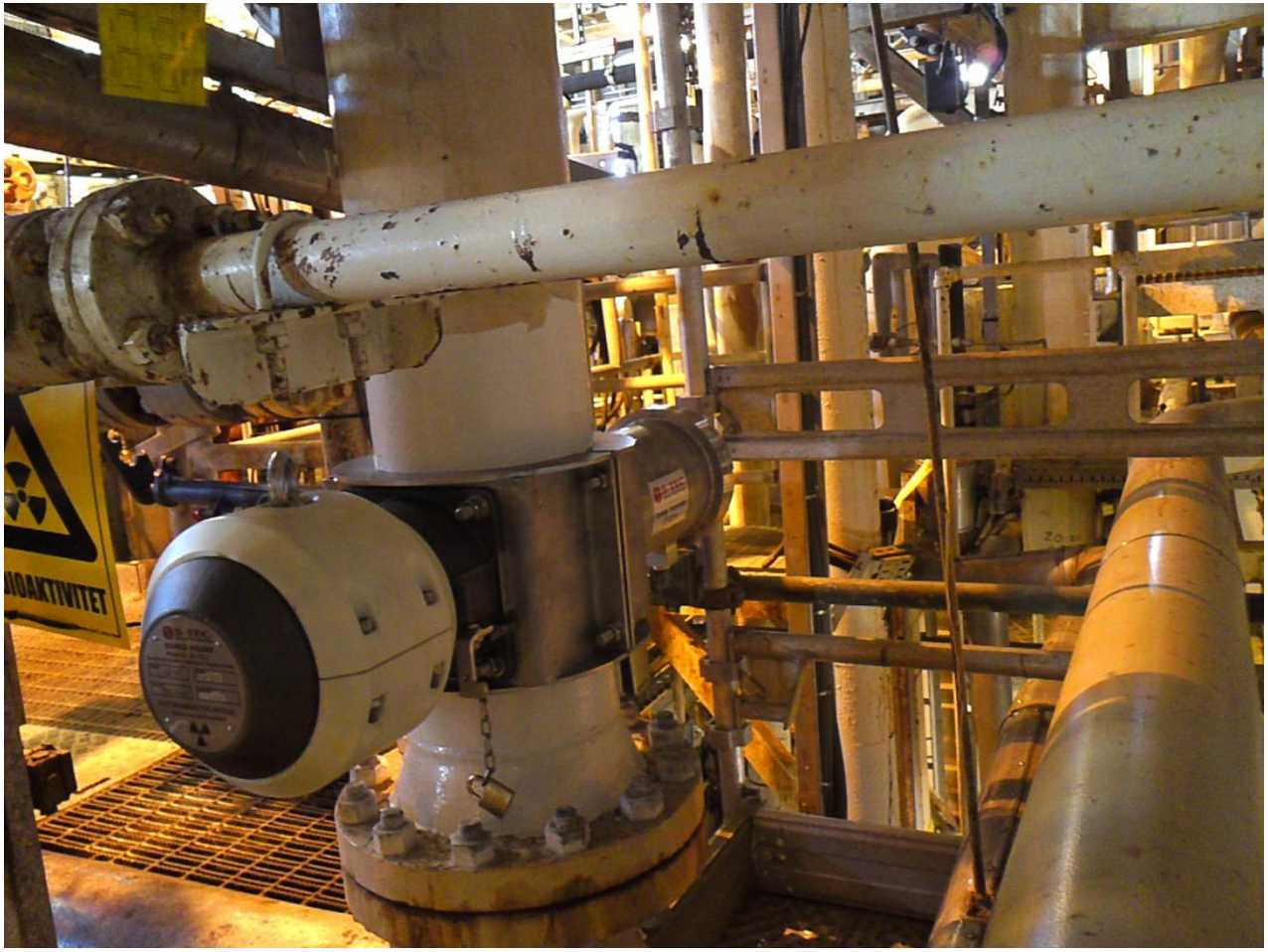
DT'en ble "clamp on"- montert på prosessrøret. Signal og strømkabler ble trukket til sikkert område kabinett, og signalkabler koblet til en logge-PC.

DT densitet, frevens og intern temperatur ble sendt trådløst til S-Tec som 2 min. gjennomsnittsverdier.

SOL densitet ble sendt til S-Tec som rapport-tabeller over gjennomsnittsverdier pr. time, basert på 1 min. måleverdier.

Prosesstemperatur- og volum strømningsdata ble ettersendt som gjennomsnittverdier pr time.

# DT-9315 test installasjon på Ula



# Oppstart med forhåndskalibrering

- Dt'en ble levert med kalibrering basert på måling av densitet i mottatt olje fra BP, over temperaturområde 20-60°C, ekstrapolert til et lineært densitetsområde fra 640-830 kg/m$^3$.

- Ved oppstart målte DT 17 kg/m$^3$ høyere densitet enn Sol linje 2. Dette er innen det variasjonsområde i veggtykkelse og diameter som kunne forventes i standard 8# rør.

- Siden det ikke var mulig å fylle prosessrøret med en testet oljeprøve under drift, ble det besluttet å foreta en en-punkt kalibrering av DT med SOL linje 2 -verdi som referanse

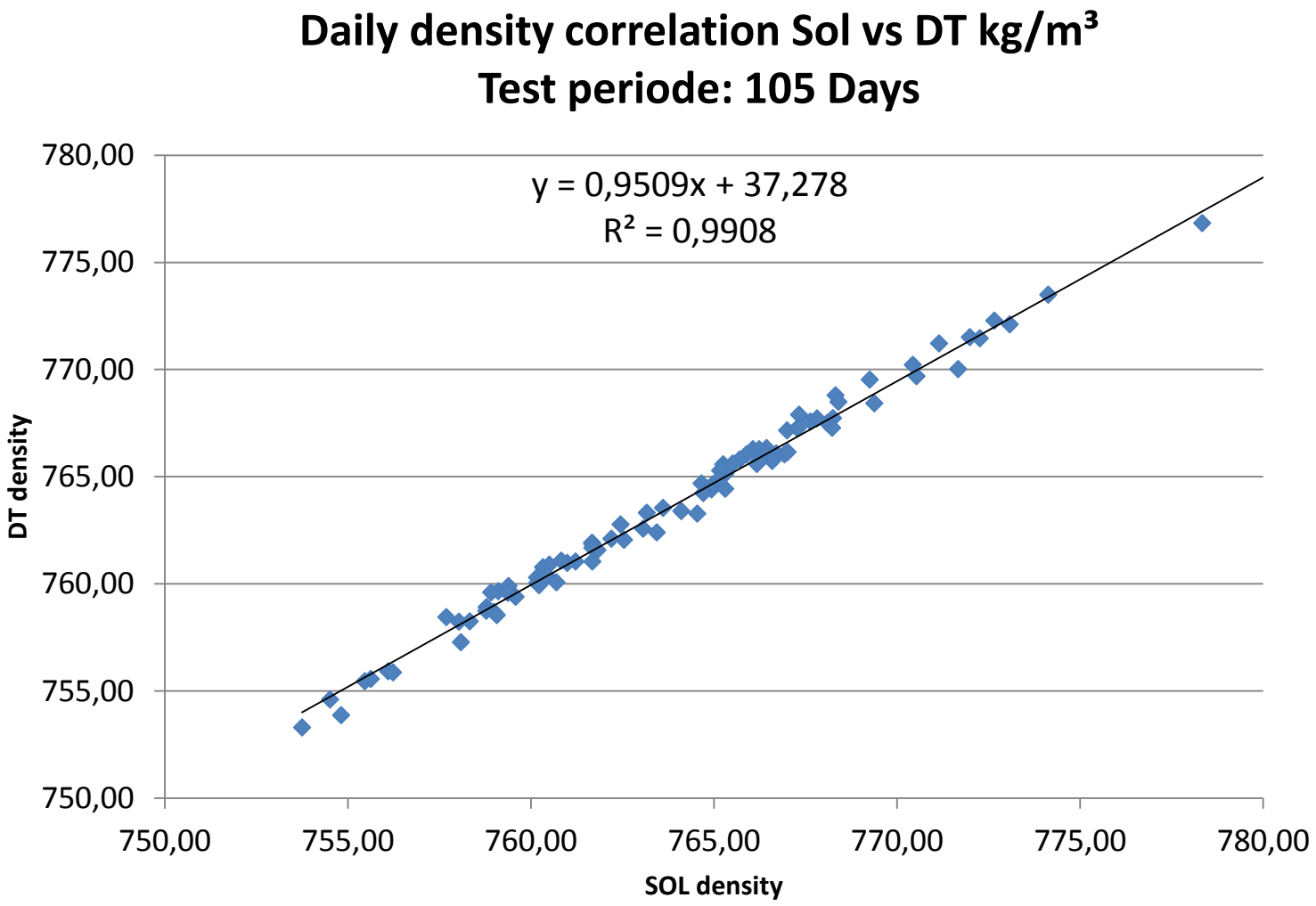
## Registreringer

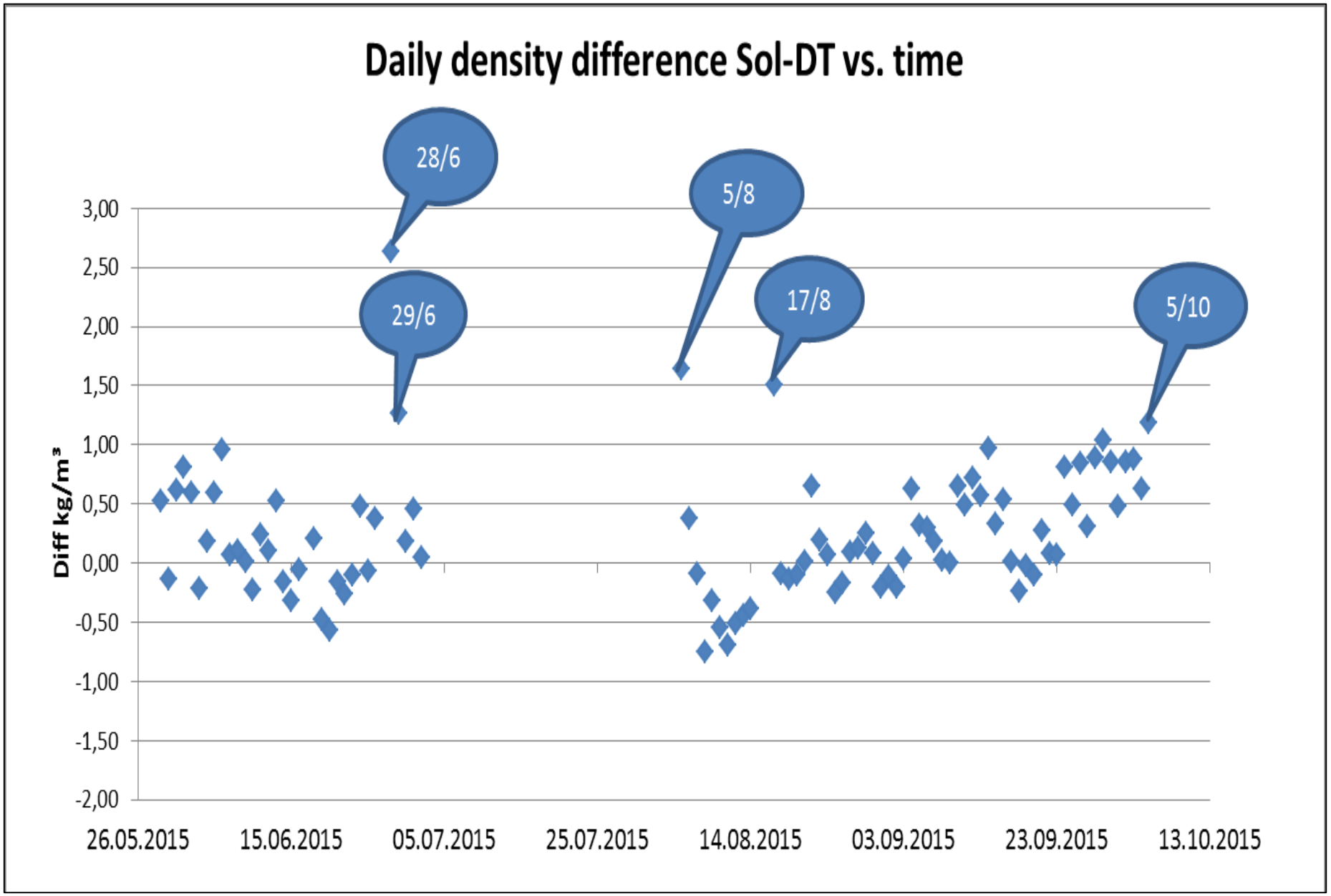
Timeverdier

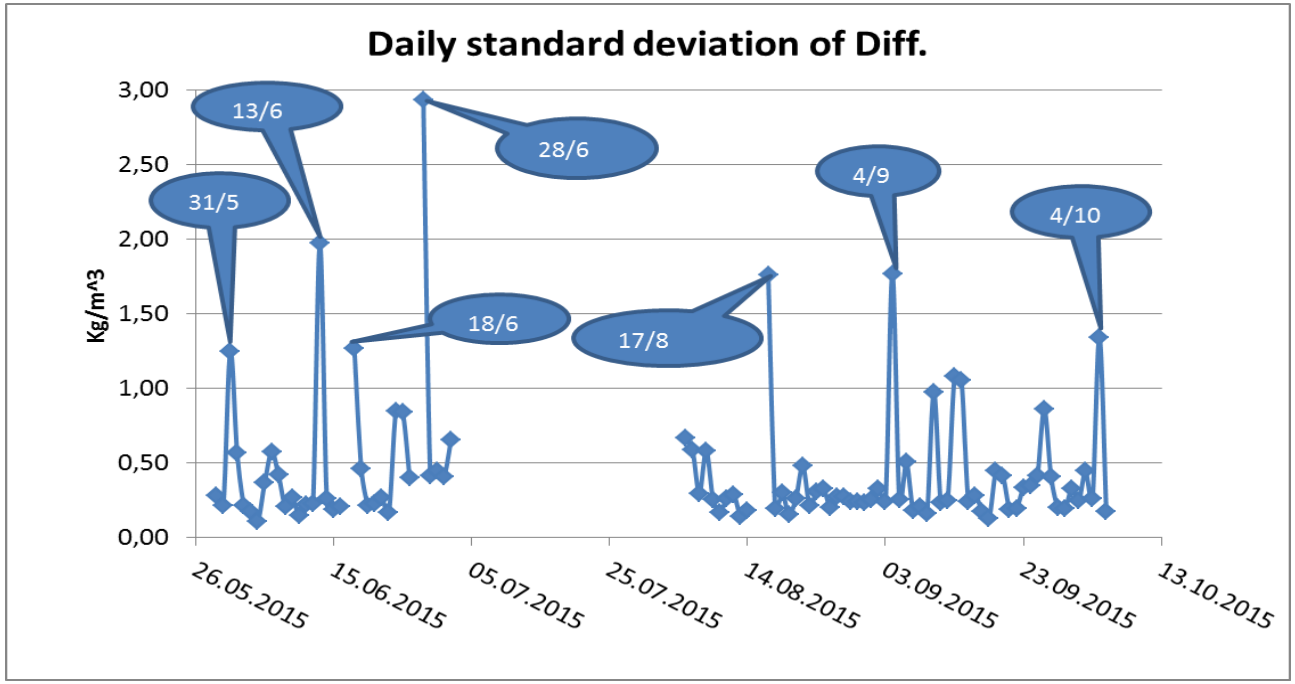
- Linje densitet Sol L2&L3
- DT densitet
- Differanse Sol-DT (Hourly Diff)
- DT interntemperatur
- Prosess temperature
- Strømningshastighet (Gross Volume flow-rate)

Daglige registreringer

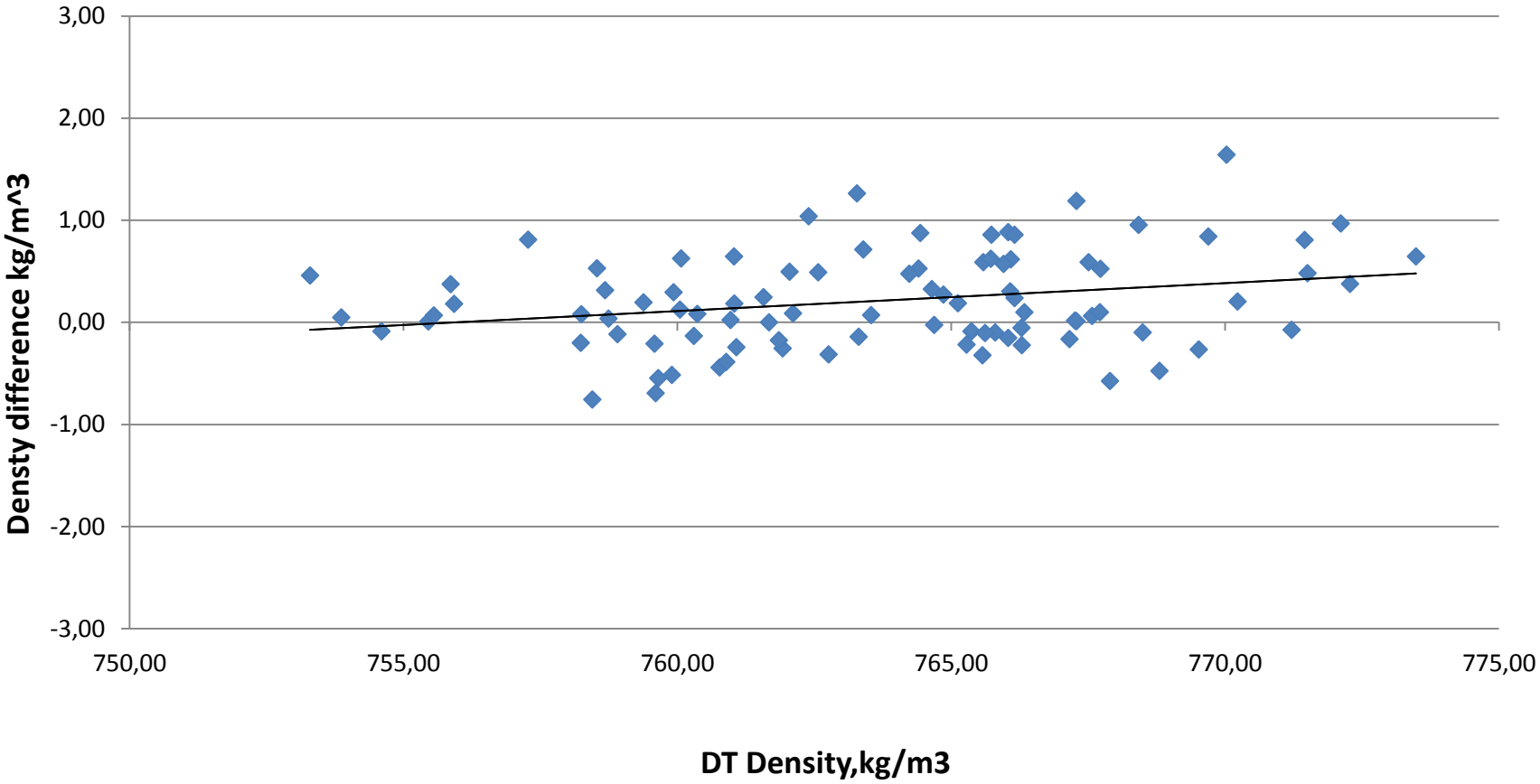
- Linje densitet Sol L2&L3
- DT densitet
- Differanse Sol-DT (Daily Diff)
- Standard avvik I differanse Sol-DT basert på timesverdier.


Daily density correlation Sol vs DT kg/m³
Test periode: 105 Days
y = 0,9509x + 37,278
R² = 0,9908
780,00
775,00
770,00
765,00
760,00
755,00
750,00
DT density
750,00
755,00
760,00
765,00
770,00
775,00
780,00
SOL density


Daily density difference Sol-DT vs. time
28/6
29/6
5/8
17/8
5/10
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
-0,50
-1,00
-1,50
-2,00
Diff kg/m³
26.05.2015
15.06.2015
05.07.2015
25.07.2015
14.08.2015
03.09.2015
23.09.2015
13.10.2015

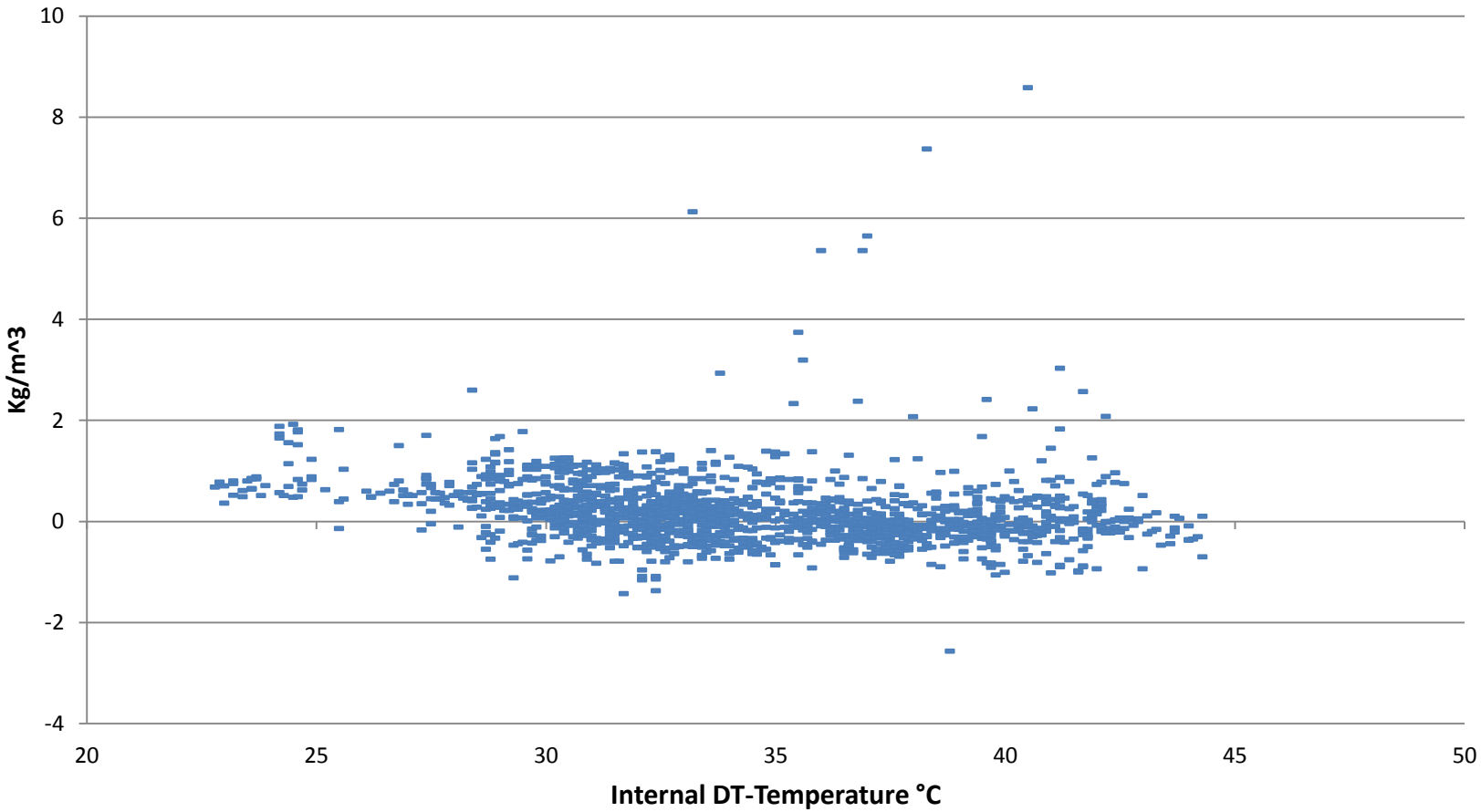

Daily standard deviation of Diff.
Kg/m^3
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
13/6
28/6
31/5
4/9
4/10
18/6
17/8
26.05.2015
15.06.2015
05.07.2015
25.07.2015
14.08.2015
03.09.2015
23.09.2015
13.10.2015

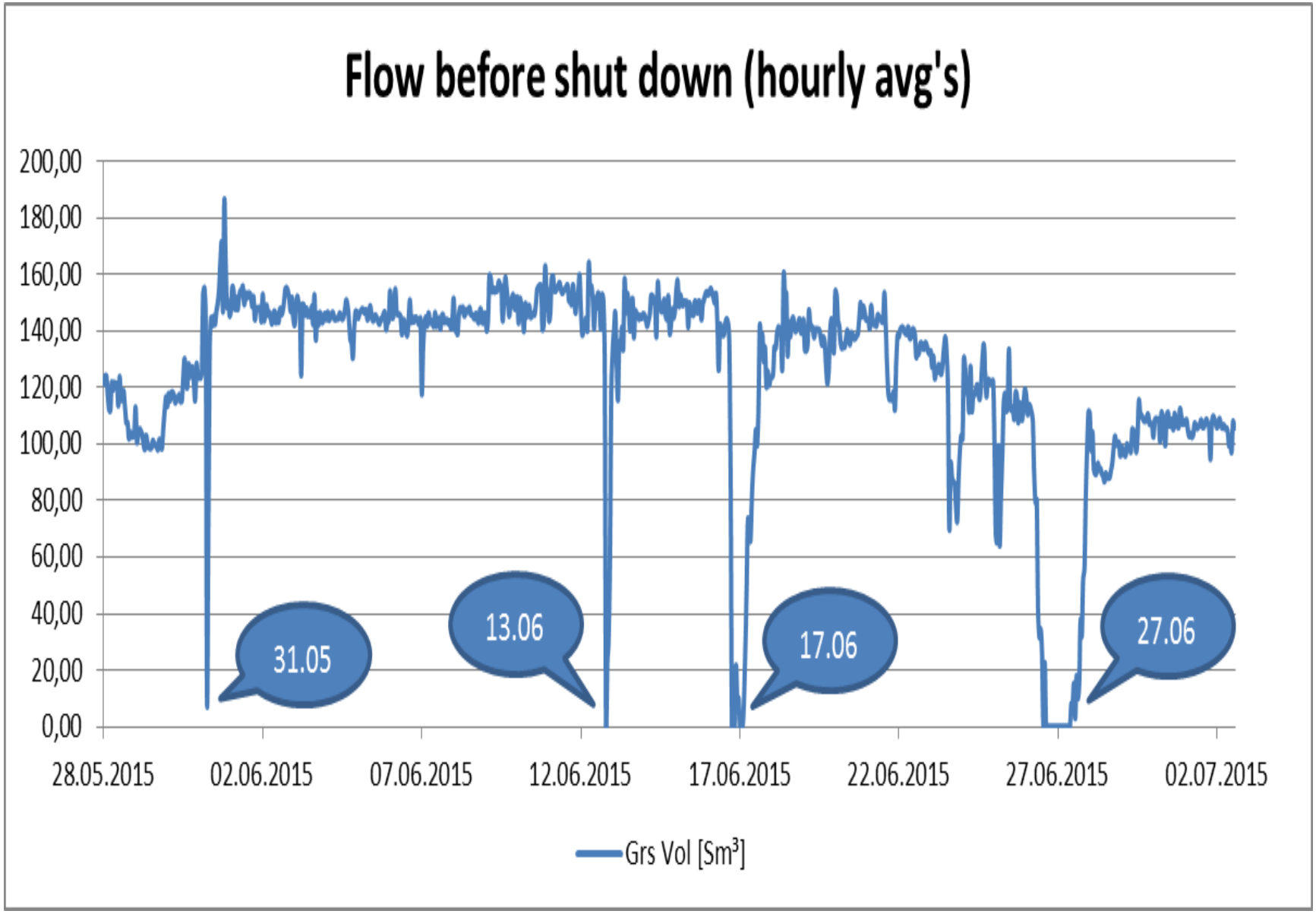
# Density difference SOL-DT vs. Density

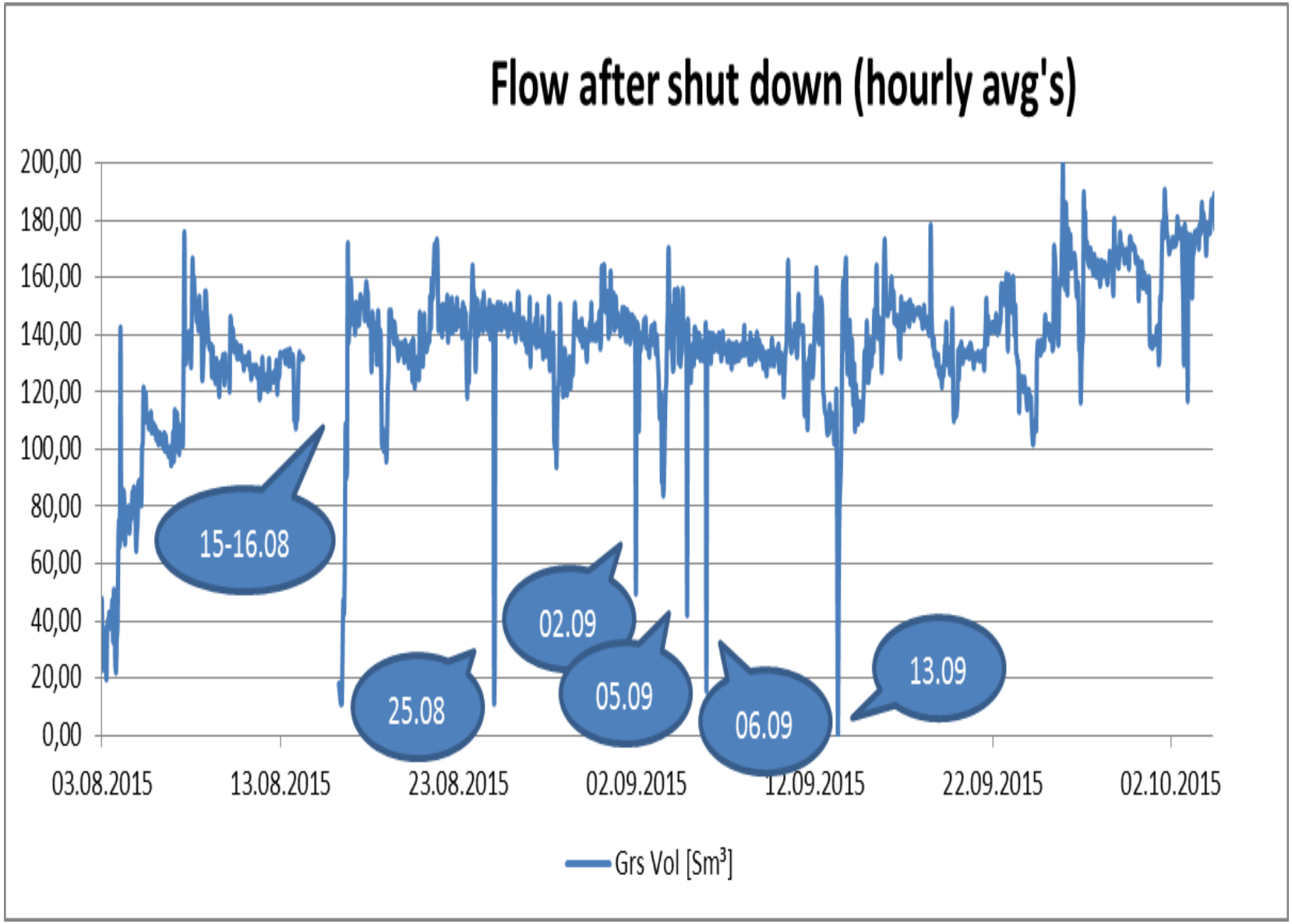


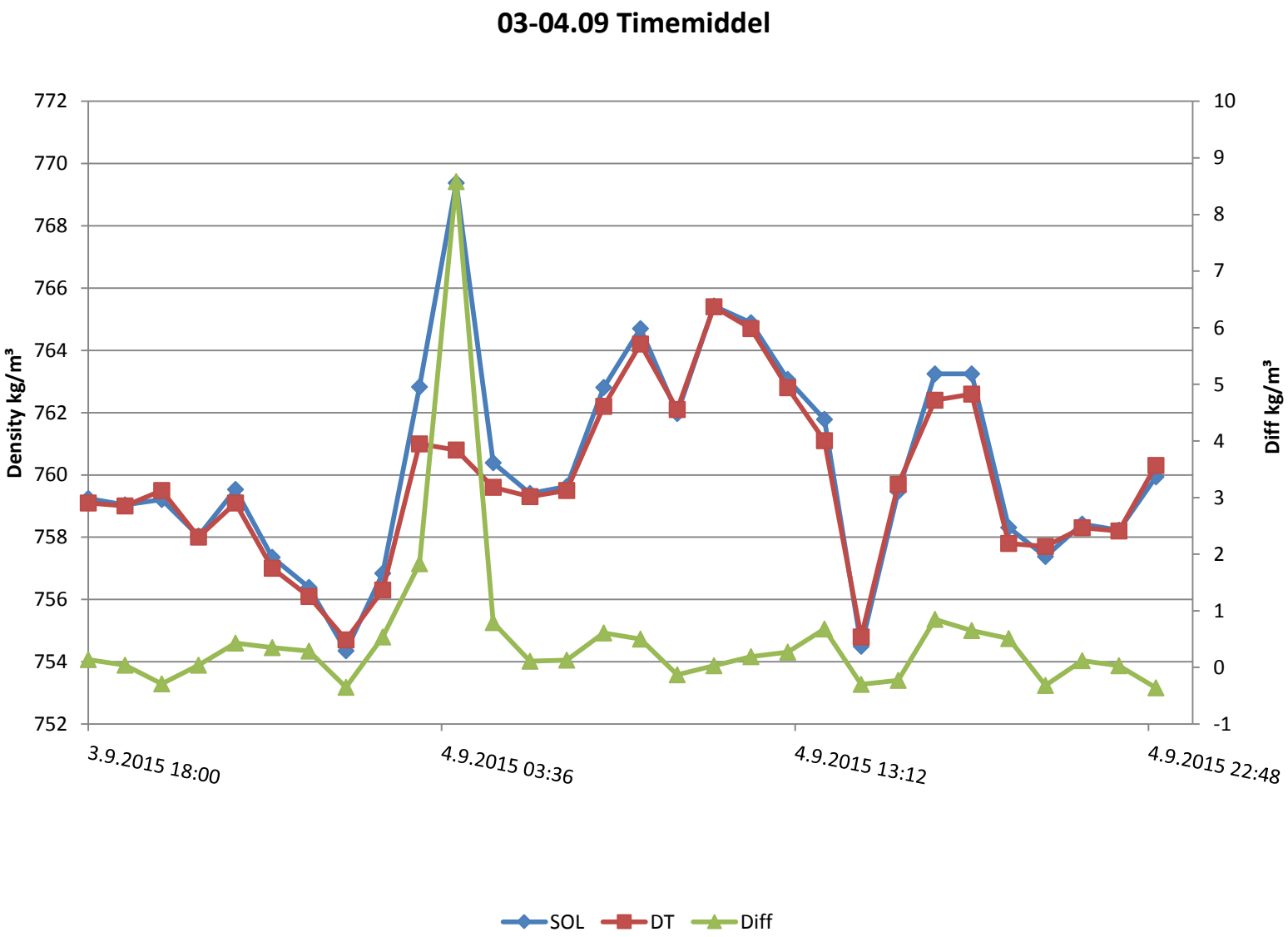
# Hourly Diff vs DT Internal Temperature

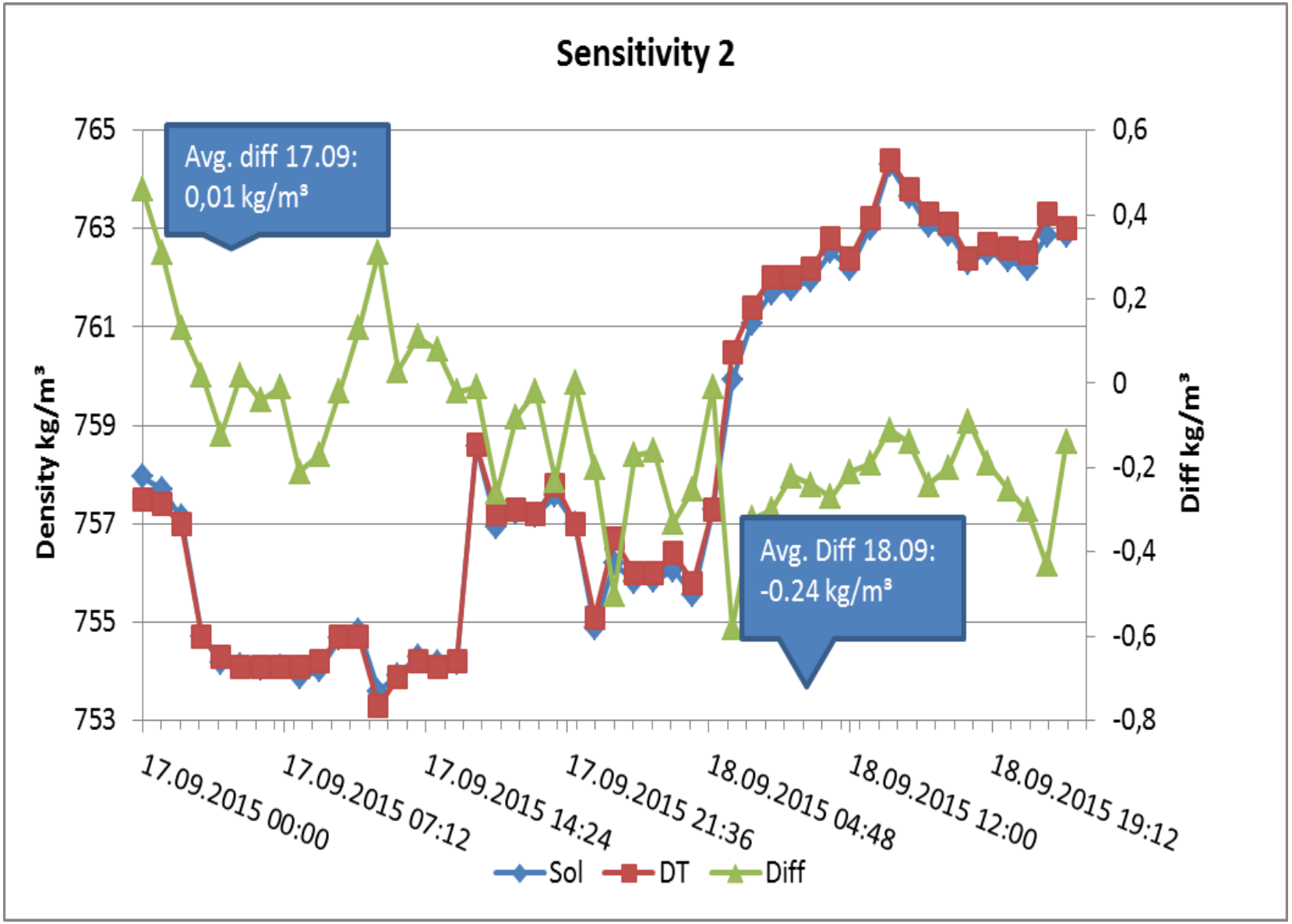
## All hourly records




Flow before shut down (hourly avg's)
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
28.05.2015
02.06.2015
07.06.2015
12.06.2015
17.06.2015
22.06.2015
27.06.2015
02.07.2015
31.05
13.06
17.06
27.06
Grs Vol [Sm³]

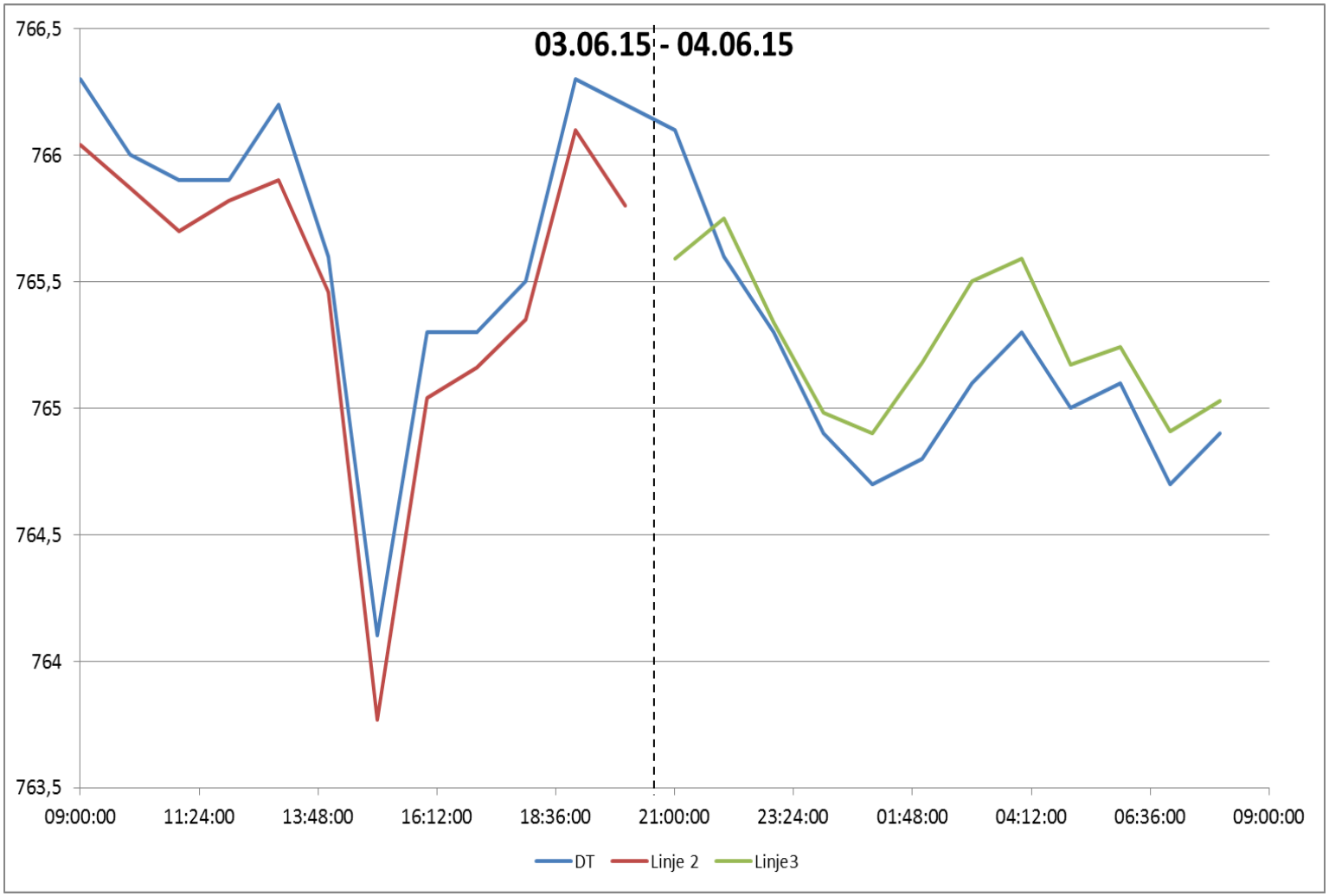

Flow after shut down (hourly avg's)
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
03.08.2015
13.08.2015
23.08.2015
02.09.2015
12.09.2015
22.09.2015
02.10.2015
15-16.08
25.08
02.09
05.09
06.09
13.09
Grs Vol [Sm³]


03-04.09 Timemiddel
Density kg/m³
Diff kg/m³
772
770
768
766
764
762
760
758
756
754
752
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
3.9.2015 18:00
4.9.2015 03:36
4.9.2015 13:12
4.9.2015 22:48
SOL
DT
Diff

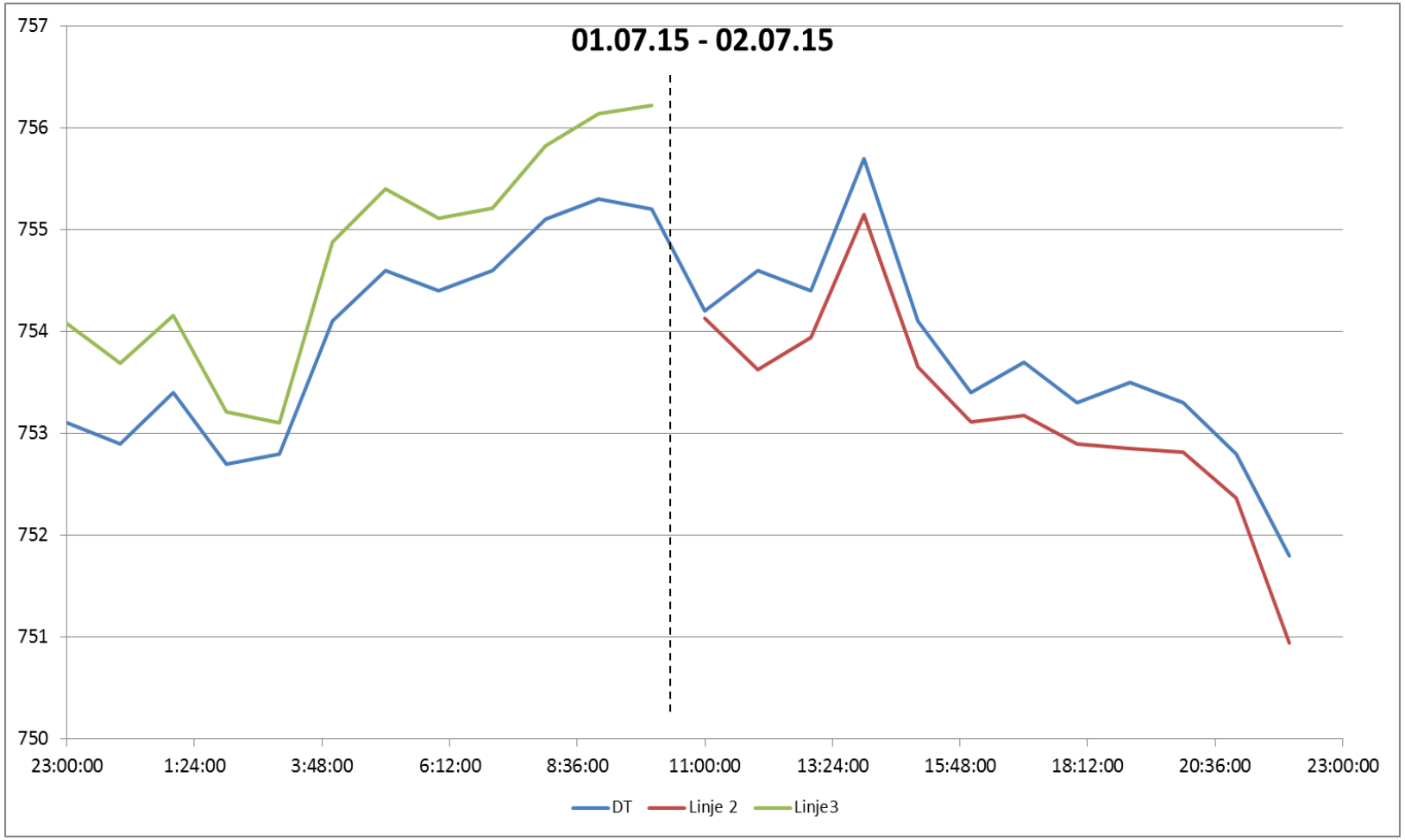

Sensitivity 2
Avg. diff 17.09:
0,01 kg/m³
Avg. Diff 18.09:
-0.24 kg/m³
Density kg/m³
Diff kg/m³
765
763
761
759
757
755
753
0,6
0,4
0,2
0
-0,2
-0,4
-0,6
-0,8
17.09.2015 00:00
17.09.2015 07:12
17.09.2015 14:24
17.09.2015 21:36
18.09.2015 04:48
18.09.2015 12:00
18.09.2015 19:12
Sol
DT
Diff

# Resultater ved linjeskift

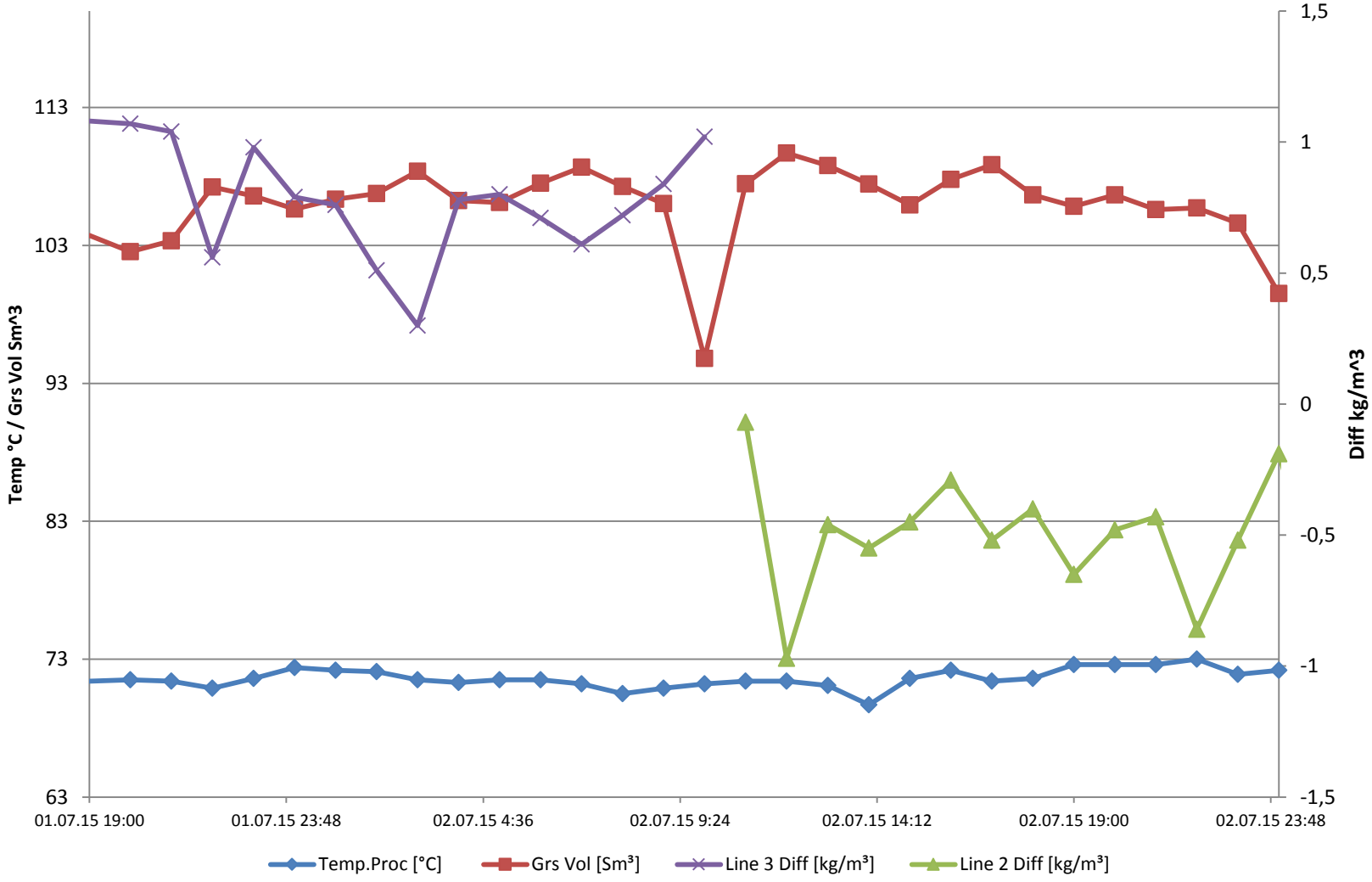
# Eks. Linjeskift 2 til 3



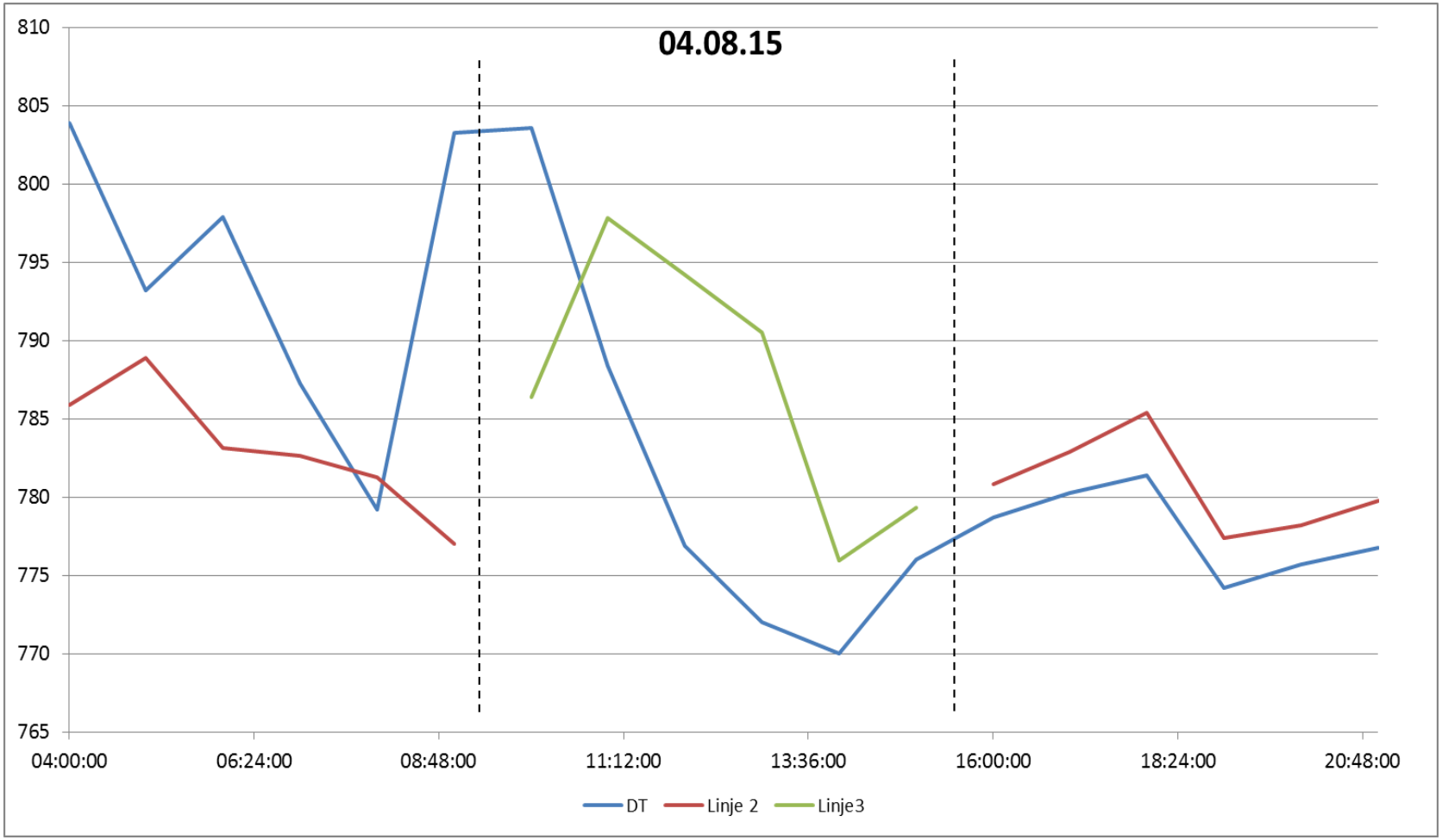
# Eks. Linjeskift 3 til 2



# Linjeskift 3 til2 og prosessbetingelser 2/7

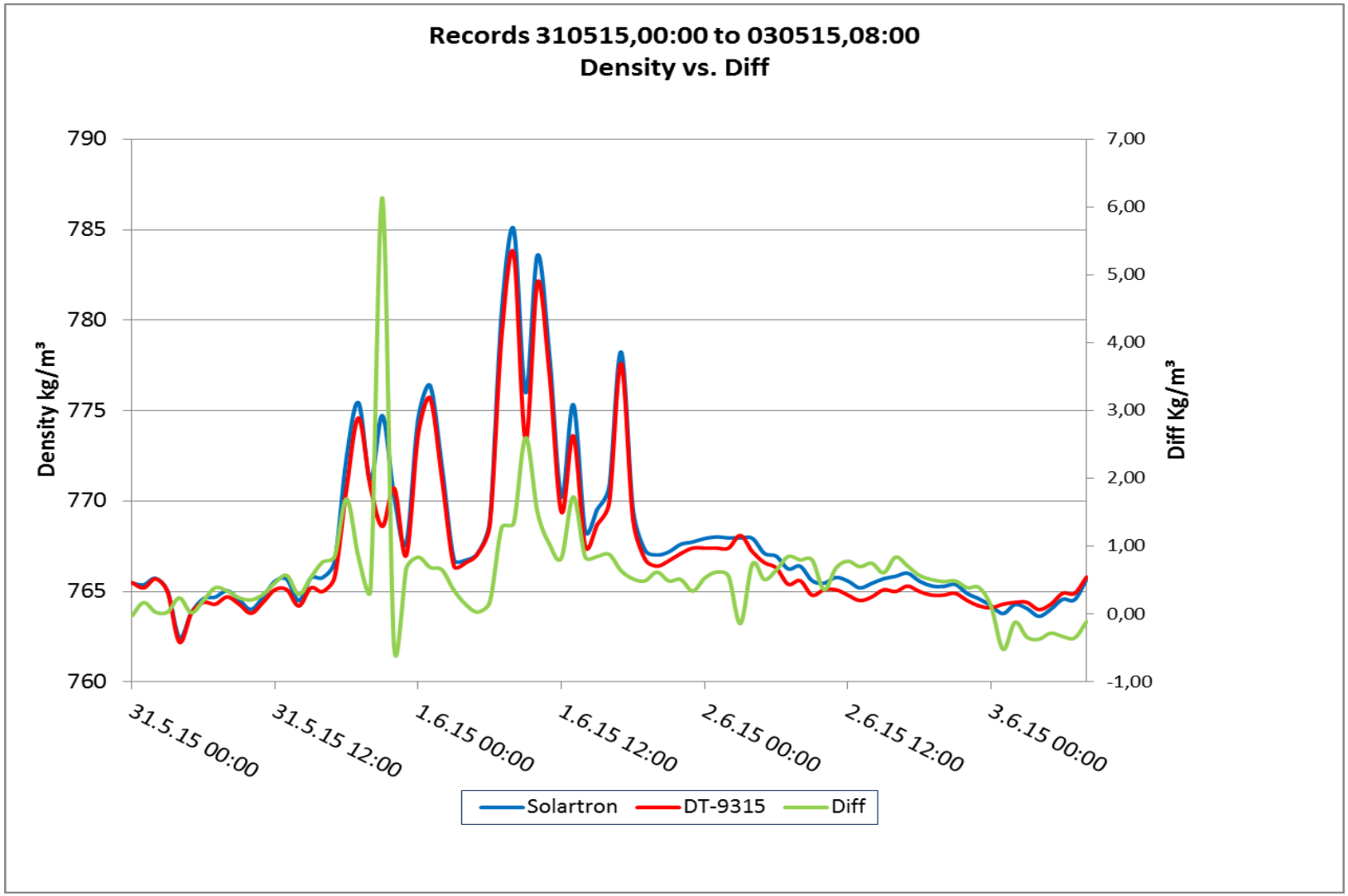


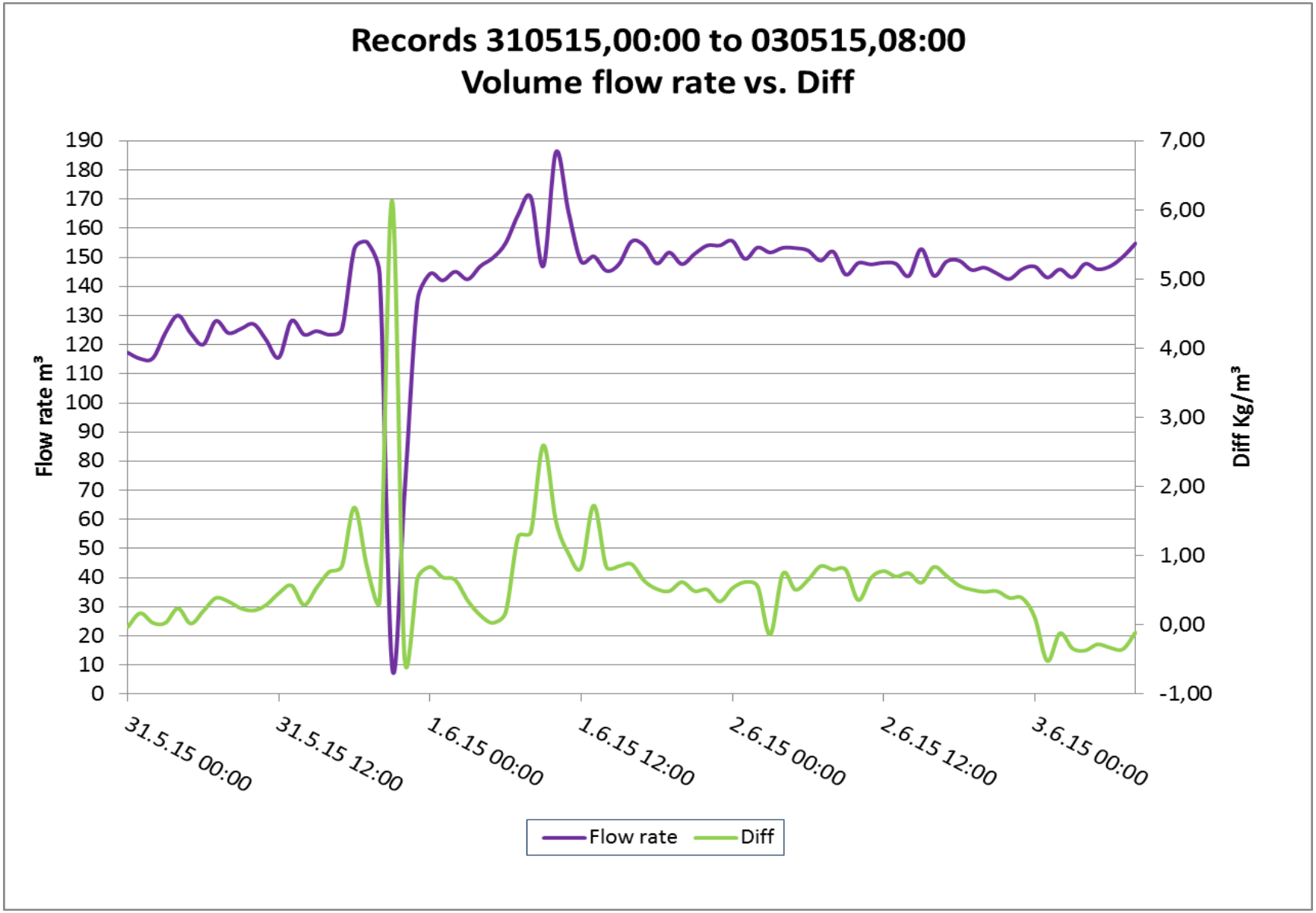
# Eks. Linjeskift 2 til 3 og tilbake

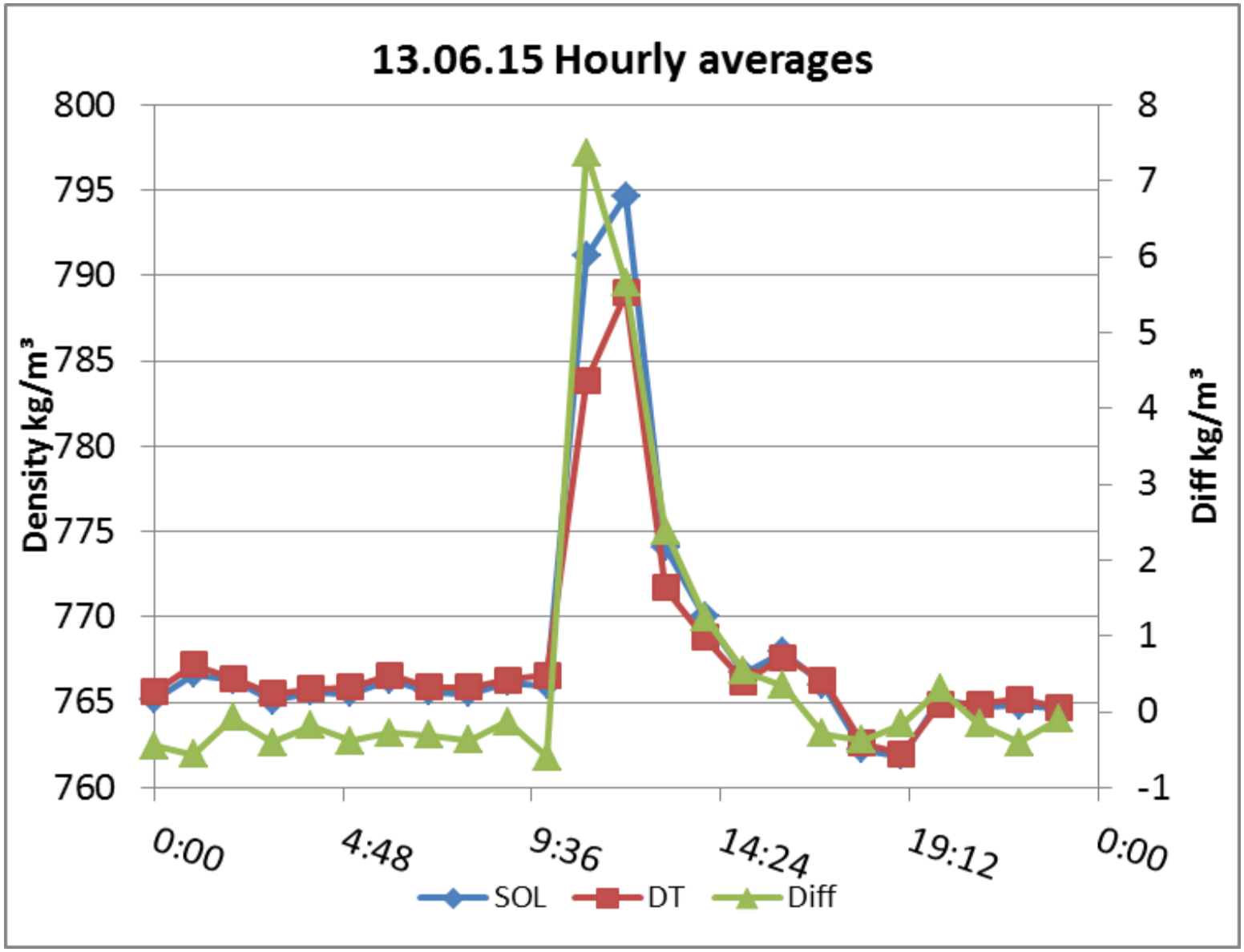


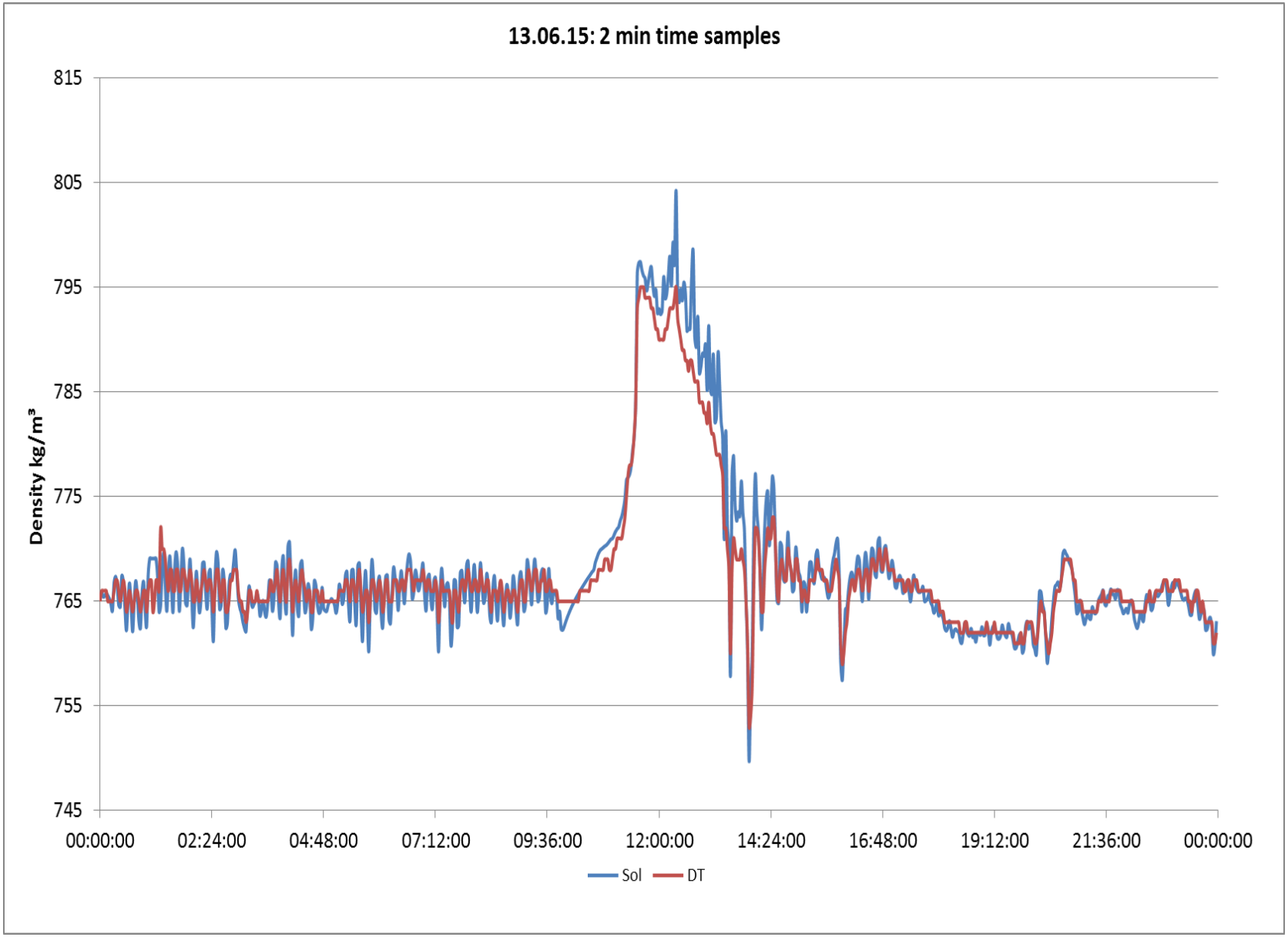
| Date | Time | Line Change | Diff. from [kg/m³] | Diff. to [kg/m³] | Change [kg/m³] | Comments |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 03.jun | 21:00 | L2 to L3 | -0.22 | 0.14 | 0.36 | Increased SOL density |
| 02.jul | 16:00 | L3 to L2 | 0.735 | -0.51 | -1.22 | Decreased SOL density |
| 04.aug | 09:00 | L2-L3/L3-L2 | | | | Instable process conditions, 2 changes in 6hrs |
| 02.sep | 15:00 | L2-L3 | -0.38 | -0.03 | 0.35 | Increased SOL density |
| 05.sep | 13:00 | L3-L2 | 0.36 | 0.31 | | No significant change |
| 03.okt | 07:00 | L2-L3 | 0.62 | 1.01 | 0.39 | Increased SOL density |

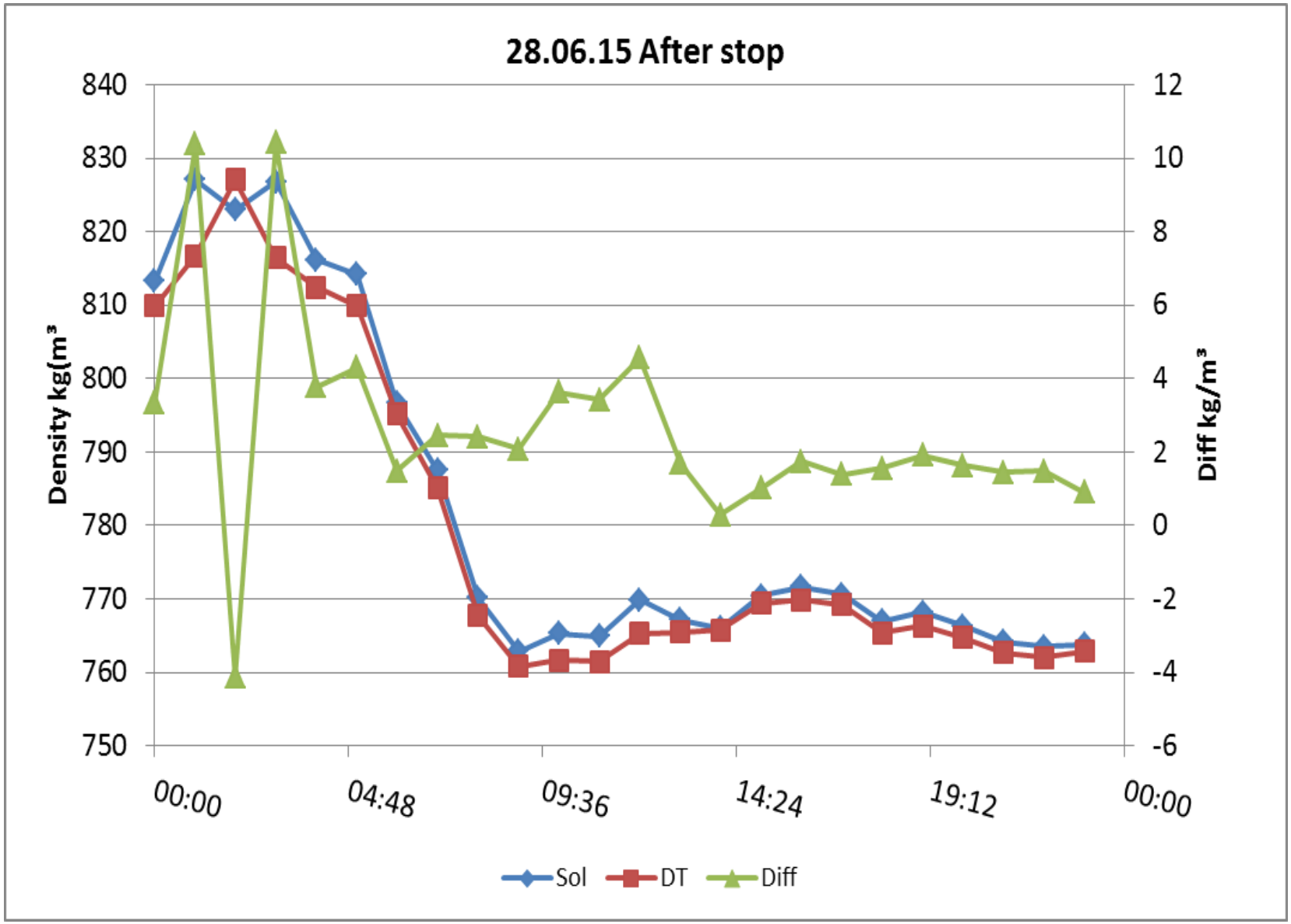
# Måling under ustabile prosessforhold

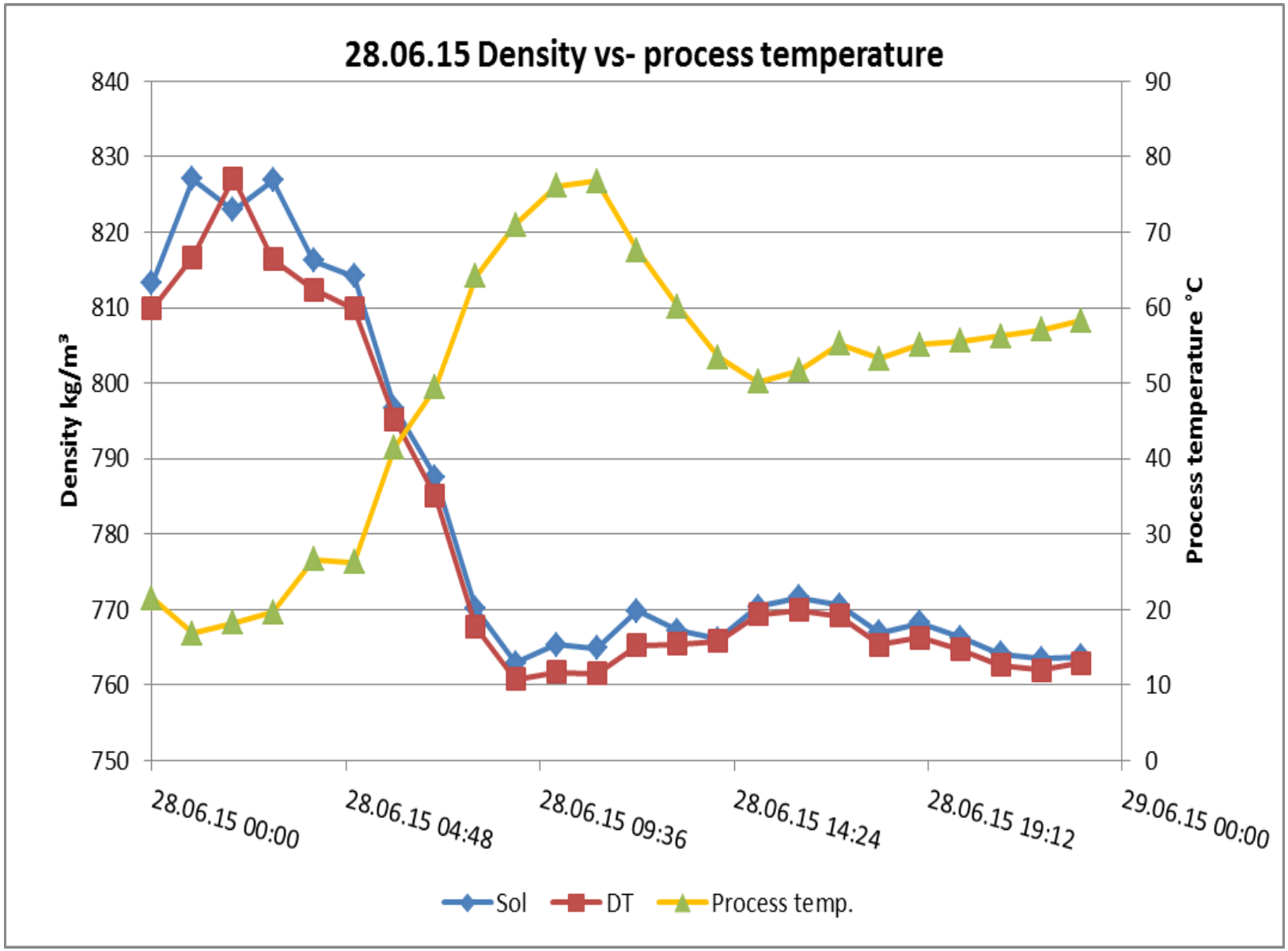

Records 310515,00:00 to 030515,08:00
Density vs. Diff
Density kg/m³
Diff Kg/m³
790
785
780
775
770
765
760
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
31.5.15 00:00
31.5.15 12:00
1.6.15 00:00
1.6.15 12:00
2.6.15 00:00
2.6.15 12:00
3.6.15 00:00
Solartron
DT-9315
Diff

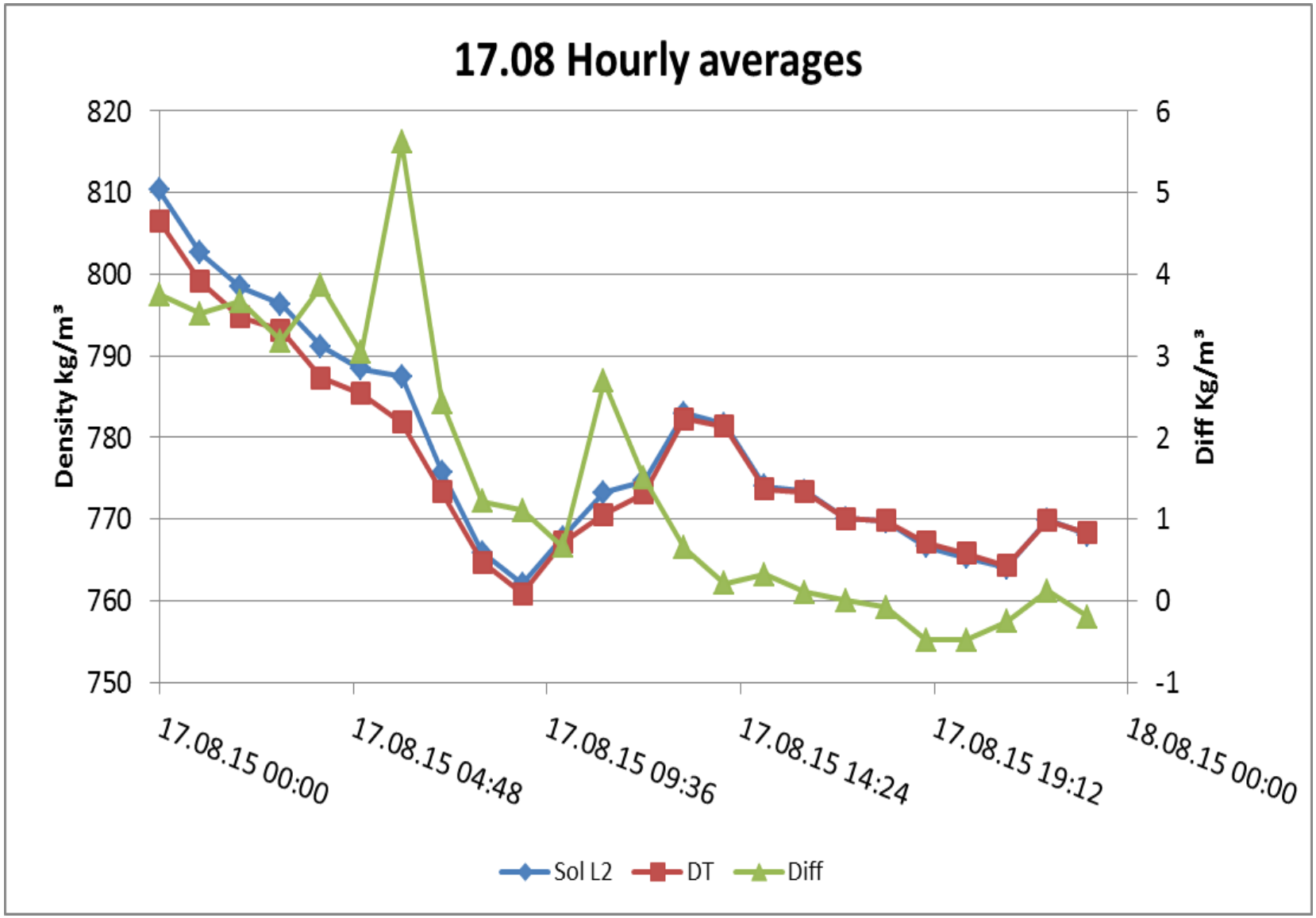

Records 310515,00:00 to 030515,08:00
Volume flow rate vs. Diff
Flow rate m³
Diff Kg/m³
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
31.5.15 00:00
31.5.15 12:00
1.6.15 00:00
1.6.15 12:00
2.6.15 00:00
2.6.15 12:00
3.6.15 00:00
Flow rate
Diff


13.06.15 Hourly averages
Density kg/m³
Diff kg/m³
800
795
790
785
780
775
770
765
760
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
0:00
4:48
9:36
14:24
19:12
0:00
SOL
DT
Diff

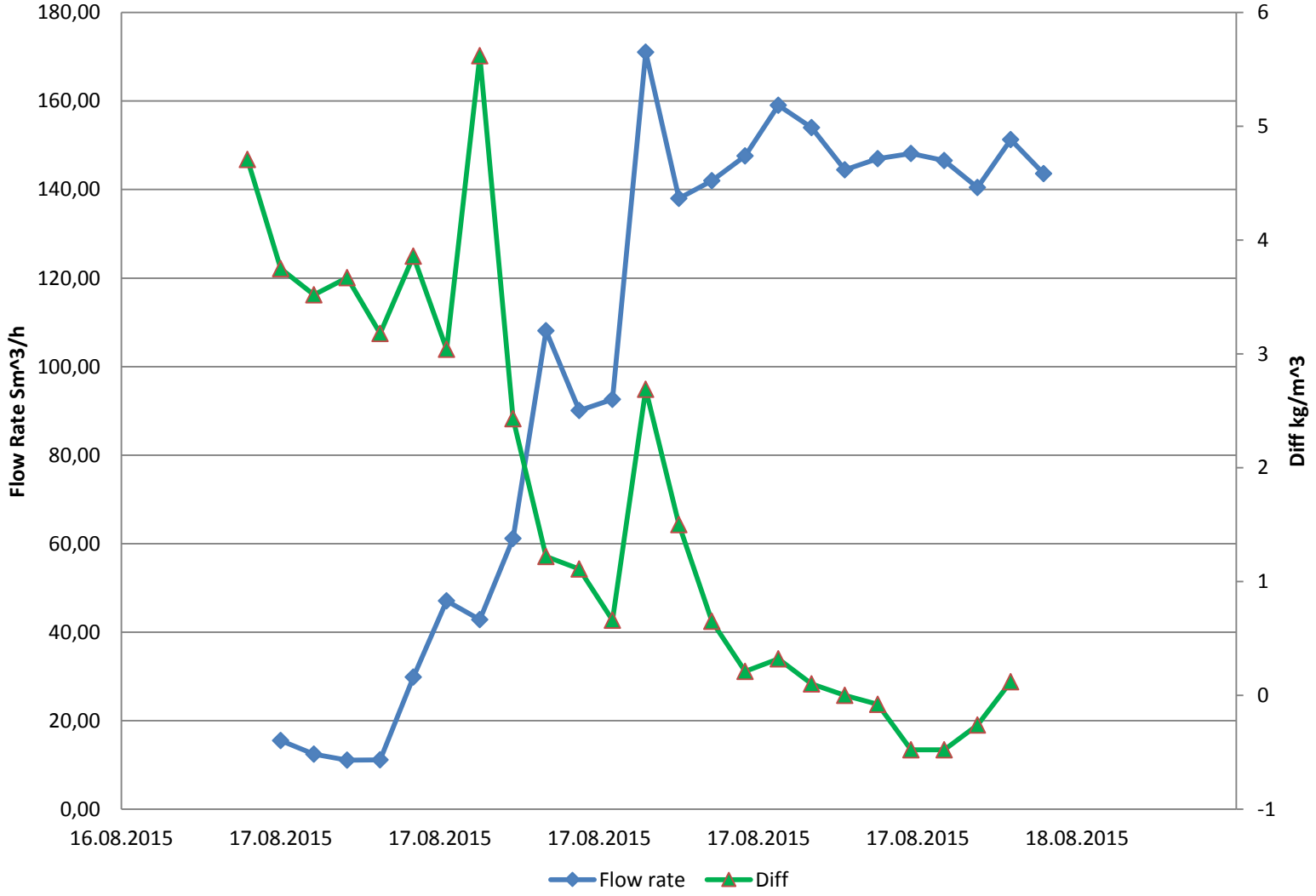

13.06.15: 2 min time samples
Density kg/m³
815
805
795
785
775
765
755
745
00:00:00
02:24:00
04:48:00
07:12:00
09:36:00
12:00:00
14:24:00
16:48:00
19:12:00
21:36:00
00:00:00
Sol
DT


28.06.15 After stop
Density kg(m³
Diff kg/m³
840
830
820
810
800
790
780
770
760
750
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
00:00
04:48
09:36
14:24
19:12
00:00
Sol
DT
Diff

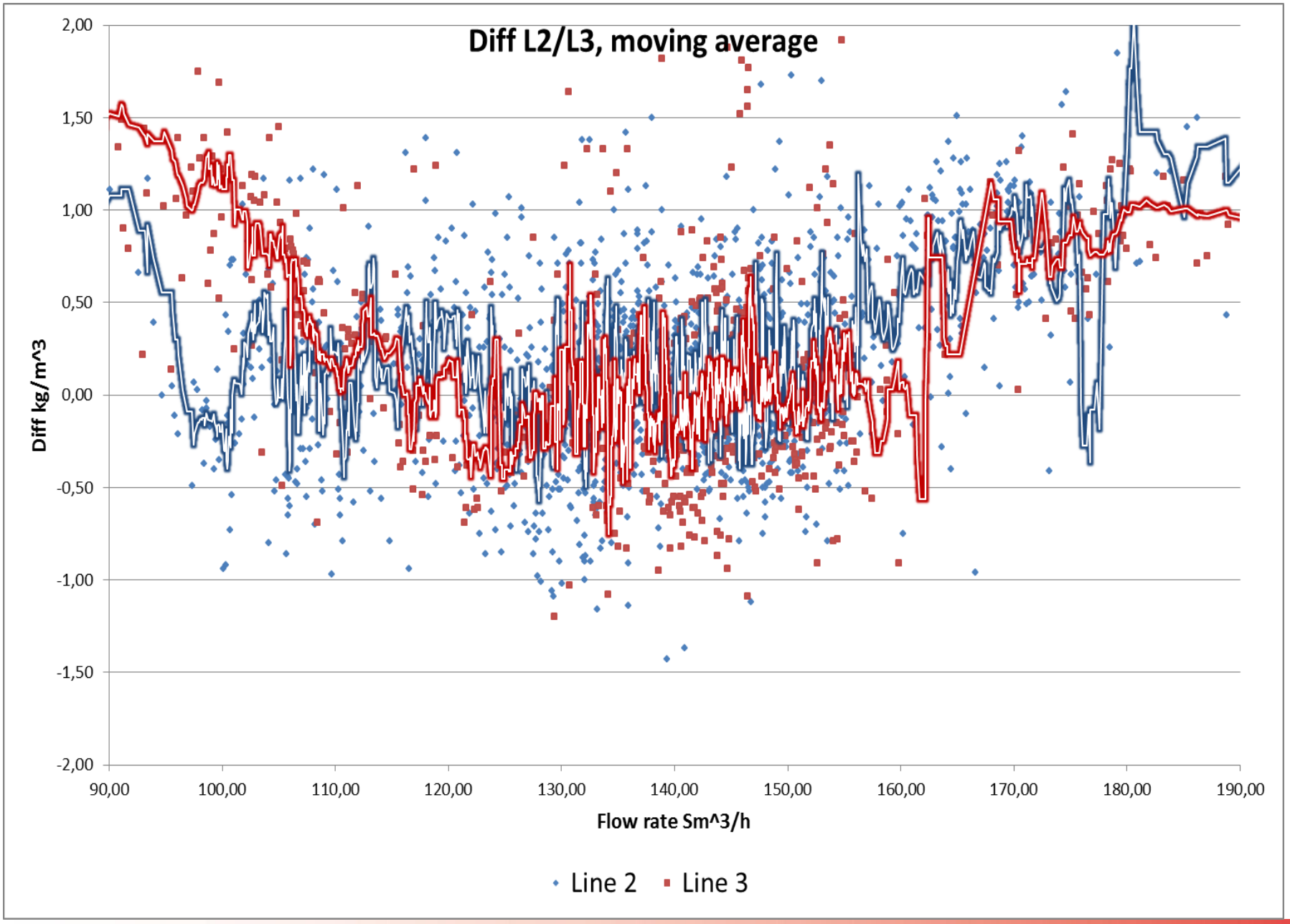

28.06.15 Density vs- process temperature
Density kg/m³
Process temperature °C
840
830
820
810
800
790
780
770
760
750
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
28.06.15 00:00
28.06.15 04:48
28.06.15 09:36
28.06.15 14:24
28.06.15 19:12
29.06.15 00:00
Sol
DT
Process temp.


17.08 Hourly averages
Density kg/m³
Diff Kg/m³
820
810
800
790
780
770
760
750
6
5
4
3
2
1
0
-1
17.08.15 00:00
17.08.15 04:48
17.08.15 09:36
17.08.15 14:24
17.08.15 19:12
18.08.15 00:00
Sol L2
DT
Diff

# 17.08 Hourly averages after start-up



# By-pass målinger mot strømningshastighet


Diff L2/L3, moving average
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
-0,50
-1,00
-1,50
-2,00
Diff kg/m^3
90,00
100,00
110,00
120,00
130,00
140,00
150,00
160,00
170,00
180,00
190,00
Flow rate Sm^3/h
Line 2
Line 3

| Flow Interval [m³/h] | Line 2 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | AVG DIFF [kg/m³] | STD DIFF [kg/m³] | Number of Hourly samples | Hourly Samples diff <0 | Hourly Samples diff >=0 |
| 90-115 | 0,11 | 0,54 | 169 | 43 % | 57 % |
| 115-155 | 0,07 | 0,48 | 1068 | 46 % | 54 % |
| 155-190 | 0,72 | 0,60 | 196 | 9 % | 91 % |
| Flow Interval [m³/h] | Line 3 | | | | |
| | AVG DIFF [kg/m³] | STD DIFF [kg/m³] | Number of Hourly samples | Hourly Samples diff <0 | Hourly Samples diff >=0 |
| 90-115 | 0,61 | 0,58 | 121 | 12 % | 88 % |
| 115-155 | 0,00 | 0,48 | 529 | 54 % | 46 % |
| 155-190 | 0,59 | 0,52 | 83 | 14 % | 86 % |

# Langtidsstabilitet

| Dato | SOL densitet kg/m³ | DT densitet kg/m³ | DT målt Frekvens Hz | Frekvens kompensert Hz | Frekvens avvik |
|---|---|---|---|---|---|
| 11/6 | 766,40 | 766,16 | 202663 | | |
| 27/9 | 766,38 | 766,08 | 201313 | 201291 | 22 |

Densitetsverdiene over er døgnmiddel på aktuelle datoer.

Kompensering for kildesvekkelse er basert på følgende formel:

$$F_t = F_0 \cdot 2^{-\left(t/T_{1/2}\right)}$$

hvor: $F_t$= frekvens ved tid t, middelverdi 27/9

$F_0$= count rate at time of start, middelverdi 31/5

$T_{1/2}$= Isotop halveringstid. For Cs-137: 30.17 år (11 019.6 dager)

t= Tid mellom $F_0$ og $F_t$. I dette tilfelle 108 dager

Avviket mellom målt og kalkulert frekvens er 22Hz. (0,01%). Dette indikerer at det ikke er signifikant aldringseffekt eller drift i detektor/ elektronikk eller endringer i avsetninger inne i prosessrøret.

## Resultater og konklusjon

- Den testede radiometriske densitetsmåleren viser raske og repeterbare densitetsverdier med god korrelasjon til standard Solartron-måler i"by-pass fast loop".
- Gjennomsnitt døgnmiddel av differanse mellom DT og SOL under regulær drift i testperioden er 0,19 kg/m³. Standard avvik av differansen er 0,44 kg/m³.
- Det er ikke observert ustabilitet eller drift I DT målingene under testperioden, og ikke utført justeringer eller rekalibrering.
- Måleresultatene er uavhengige av strømningshastighet og omgivelsetemperatur i den aktuelle applikasjonen.
- Den utførte felt- testen har ikke kunnet dokumentere presisjon i densitetsmålingen fordi det ikke er gjennomført kalibrering mot laboratoriemåling.
- Utfordringer ved bruk av måleren i applikasjonen er: Etablering av godkjent prøvetagning og lab-prosedyre under drift.

# Takk for oppmerksomheten