



Statens vegvesen

Vann- og frostsikring i tunneler
Temperaturmålinger
Lettbetonghvelv - Væretunnelen

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2509



Tunnel- og betongseksjonen
Dato: 2008-02-15



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2509

Tittel

Vann- og frostsikring i tunneler Temperaturmålinger Lettbetonghvelv - Væretunnelen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Finn Fluge

Dato:

2008-02-15

Saksbehandler

Finn Fluge

Prosjektnr:

602182

Kontrollert av

Kjersti Kvalheim Dunham

Antall sider og vedlegg:

9 sider + 2 vedlegg

Sammendrag

Rapporten behandler kontinuerlige temperaturmålinger utført på lettbetonghvelvet i Væretunnelen som er lokalisert til E6 øst for Trondheim. Målingene er utført i to perioder vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007.

Temperaturene ble registrert i fire områder, to nær tunnelåpningene samt to 175 og 190 meter inn fra hver side. Sensorene er plassert midt i lettbetongelementet samt på veg- og fjellsiden. Målingene inngår i vurderingen av lettbetonghvelvets tilstand og benyttes som grunnlag for bedømmelse av skader forårsaket av påkjenninger fra frost og vann.

Frostmengder er beregnet på grunnlag av temperaturregistreringene. Målingene viser store forskjeller mellom temperaturnivåene ved vestre og østre tunnelåpning. Frostmengdene ved vestre tunnelåpning øker fra beskjedne 207 hoC i perioden 2005/2006 til 403 hoC året etter. Frostmengdene ved østre tunnelåpning reduseres fra 6612 hoC i perioden 2005/2006 til 4355 hoC vinteren 2006/2007.

Frostmengder registrert på baksiden av elementene varierer fra 0 hoC til 600 hoC er av samme størrelsesorden for begge vintrene.

Summary

The report deals with temperatures on light weight concrete elements, automatically recorded every hour during the winter seasons 2005/2006 and 2006/2007. The elements are installed in the Være tunnel located to E6 east of Trondheim.

The temperatures have been recorded in four areas, two close to the entrances and two 175 and 190 meters from the west and east tunnel entrances respectively. The recordings were performed by three sensors in each area, placed on both sides of the element and in the centre. The monitoring programme is part of the evaluation of damages on the light weight elements caused by actions from frost and water.

The Frost Index, hoC (number of hours with temperatures below zero multiplied by the recorded temperature in degree Celsius) increased in the winter season 2006/2007 from 400 hoC in west to 4350 hoC at the east entrance, while recordings during the winter season 2005/2006 gave 200 hoC and 6600 hoC at the west and east entrances respectively.

Temperature measurements behind the elements gave values which were of the same magnitude for both winter seasons investigated.

Emneord:

Tunnelhvelv, lettbetongelementer, temperaturmålinger og frostmengder.

Innhold

Vedlegg	1
1. Innledning.....	2
2. Lokalisering.....	2
2.1 Væretunnelen - koordinater.....	2
2.2 Temperaturloggere	3
3. Temperaturmålinger	3
4. Frostmengder.....	4
4.1 Regelverk - normaler.....	4
4.2 Frostmengder registrert vinteren 2005/2006 og 2006/2007.....	5
5. Konklusjon	9

Vedlegg

Vedlegg 1

Temperaturregistreringer vinteren 2005/2006

- Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning
- Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning
- Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning
- Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning

Vedlegg 2

Temperaturregistreringer vinteren 2006/2007

- Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning
 - vegside
 - midt i element
 - fjellside
- Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning
 - vegside
 - midt i element
 - fjellside
- Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning
 - vegside
 - fjellside
- Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning
 - vegside
 - fjellside

1. Innledning

Som ledd i oppfølgingen av tunnelementene i lettbetong som ble montert i Væretunnelen er det fra 2. mars 2005 utført kontinuerlige temperaturmålinger i fire områder av tunnelen. Denne rapporten behandler temperaturregistreringer utført vinteren 2005/2006 samt vinteren 2006/2007.

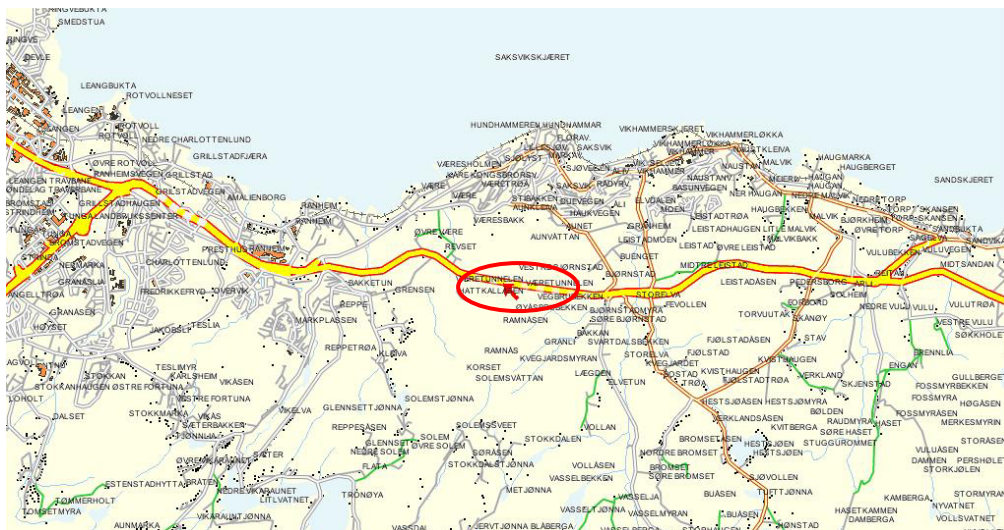
Væretunnelen ligger på E6 på grensen mellom Trondheim og Malvik kommuner. Håndbok 018 "Vegbygging" angir for Trondheim og Malvik kommuner en årsmiddeltemperatur på 5°C og frostmengde F₂ på henholdsvis 7000 og 6000 h°C.

På grunnlag av temperaturregistreringene er opptredende frostmengder for vinteren 2005/2006 og 2006/2007 beregnet. Opptredende frostmengder inngår i vurderingen av tunnelhvelvets tilstand og benyttes som grunnlag ved bedømmelsen av skader på lettbetonghvelvet forårsaket av påkjenninger fra frost og vann.

2. Lokalisering

2.1 Væretunnelen - koordinater

Væretunnelen er 1624 meter lang og ligger på E6 øst for Trondheim, se kart figur 1.



Figur 1 Kart: Ranheim - Malvik

Tunnelåpning - vestside har følgende koordinater:
Euref 89, UTM sone 33, nord 7040325, øst 279675
høyde m.o.h. = 114,2 meter

Tunnelåpning - østside har følgende koordinater:
Euref 89, UTM sone 33, nord 7040075, øst 281255
høyde m.o.h. = 105,4 meter

2.2 Temperaturloggere

Temperaturloggerne er montert i fire områder av tunnelen.

Område A: Ca. 24 meter fra vestre tunnelåpning, luke i høyre felt retning nord .

Område B: Ca. 175 meter fra vestre tunnelåpning, luke i høyre felt retning nord .

Område C: Ca. 190 meter fra østre tunnelåpning, luke i venstre felt retning nord .

Område D: Ca. 13 meter fra østre tunnelåpning, luke i høyre felt retning nord .

I hvert av områdene A og B er det på vegsiden av elementet montert en temperaturføler ca. 3 meter over vegbanen, en midt i lettbetongelementet og en på elementsiden inn mot fjellet - totalt 3 følere i hvert område.

I områdene C og D er det på vegsiden av elementet montert temperaturfølere ca. 3 meter over vegbanen samt en på elementsiden inn mot fjellet - totalt 2 følere i hvert område.

Lettbetongelementene har tykkelse 200 mm. Det er ikke benyttet heldekkende membran på baksiden, men på siden mot fjellet er elementene påført smøremembran.

3. Temperaturmålinger

Temperatursensorene/loggerne er av typen Tini Tag Plus 12 G -40/+120. Temperaturene logges kontinuerlig med registrering hver time. Loggerne ble montert og satt i drift 2. mars 2005. Temperaturregistreringene pågår fremdeles. Rapporten referer til målinger utført i vinterperiodene fra oktober til april, årene 2005/2006 og 2006/2007.

Temperaturmålingene, utført innen ett område samsvarer godt med hverandre. Variasjonene i temperatur, registrert på vegsiden er store, men finnes igjen, i avdempet form, på målinger registrert midt i elementet og på fjellsiden. Da loggerne registrerer temperaturene uavhengig av hverandre er dette samsvaret en garanti for at de utførte målingene er korrekte.

Temperaturer registrert i de to periodene 2005/2006 og 2006/2007 er for de fire forannevnte områdene vist i vedlagte diagrammer, se Vedlegg 1 og 2.

Minimumstemperaturer registrert i de to vinterperiodene er vist i tabell 1. Bemerk de store temperaturforskjellene mellom vestre og østre tunnelåpning. Lavest målte temperaturer var vinteren 2005/2006 $-5,2^{\circ}\text{C}$ i vest og $-15,6^{\circ}\text{C}$ i øst mot $-6,8^{\circ}\text{C}$ i vest og $-16,9^{\circ}\text{C}$ i øst vinteren 2006/2007.

Tabell 1 Væretunnelen

Minimums temperaturer registrert vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007.

Område	Logger Serie nr.	Plassering	Minimumstemperatur $^{\circ}\text{C}$		
			2005/2006	2006/2007	
A	vest	272591	vegside	-5,2	-6,8
		278568	midt i element	+0,7	-0,2
	24 m	272593	fjellside	+3,0	+2,8
B	vest	272596	vegside	-2,2	-4,1
		278569	midt i element	+1,6	+0,7
	175 m	276237	fjellside	+3,5	+3,3
C	øst	276242	vegside	-13,5	-15,1
	190 m	276241	fjellside	-2,5	-3,1
	øst	276238	vegside	-15,6	-16,9
D	13 m	276239	fjellside	-2,9	-3,3

De lavest registrerte temperaturene ble målt var $-16,9^{\circ}\text{C}$ ved den østlige tunnelåpningen i slutten av februar. Dette var i den kaldeste 14 dagers perioden vinteren 2006/2007. På baksiden av elementet var den laveste temperaturen som ble målt denne vinteren $-3,3^{\circ}\text{C}$.

4. Frostmengder

4.1 Regelverk - normaler

Væretunnelen ligger på grensen mellom Trondheim og Malvik kommuner. Årsmiddeltemperatur og frostmengder for de to kommunene er i henhold til Håndbok 018 "Vegbygging" i Statens vegvesen, som gitt i tabell 2.

Tabell 2 Væretunnelen
Årsmiddeltemperatur og frostmengder for Trondheim og Malvik

	Trondheim	Malvik
Årsmiddeltemperatur t_m :	°C	°C
	5,0	5,0
Frostmengder	h°C	h°C
F ₂ :	7000	6000
F ₅ :	12000	11000
Dimensjonerende F ₁₀ :	14000	13000
F ₁₀₀ :	16000	15000

Meteorologisk Institutt's temperaturnormaler for Trondheim og Malvik, basert på perioden 1961 - 1990, viser følgende årsmiddel:

Trondheim: m.o.h. = 127 meter 4,8 °C
Malvik: m.o.h. = 10 meter 5,2 °C

Tilsvarende er middeltemperaturene i månedene desember, januar, februar og mars for Trondheim og Malvik:

Trondheim: - 2,0 °C, - 3,0 °C, - 2,5 °C og 0,0 °C
Malvik: - 1,2 °C, - 3,0 °C, - 2,2 °C og + 0,6 °C

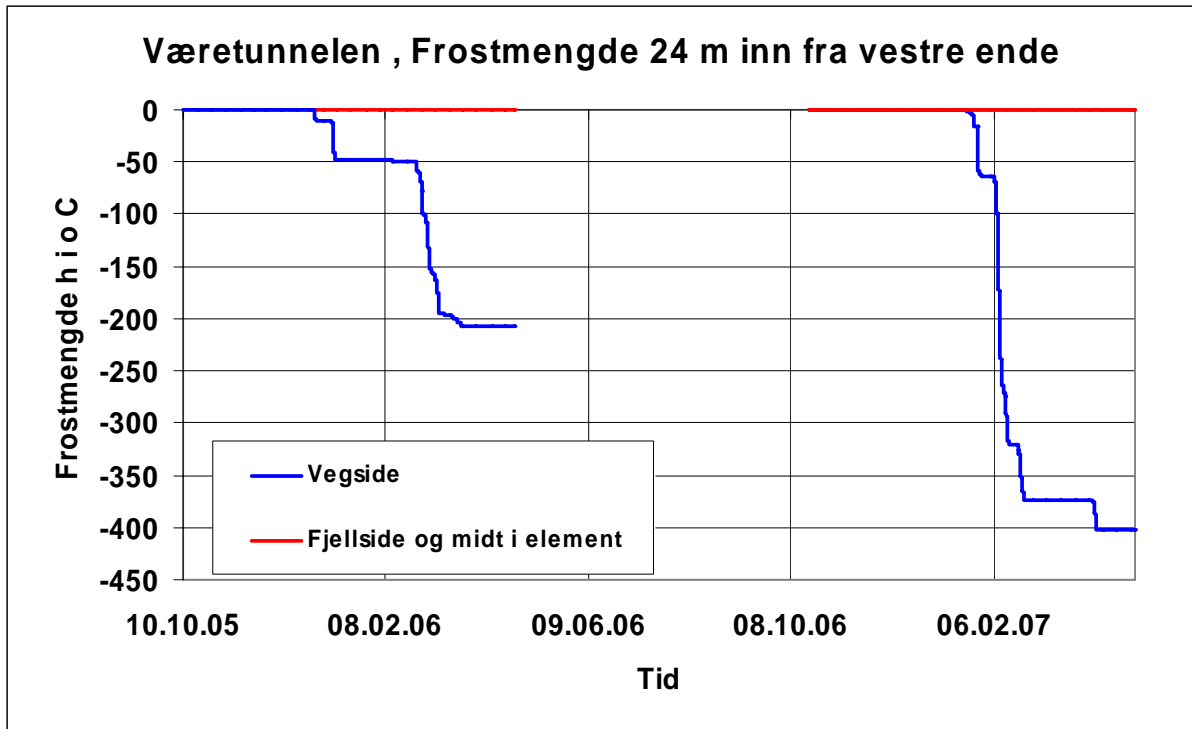
Målinger utført på Værnes i perioden desember 2005 til april 2006 viste følgende månedsmiddel.

Værnes: - 1,3 °C, - 0,3 °C, - 0,9 °C og - 4,7 °C

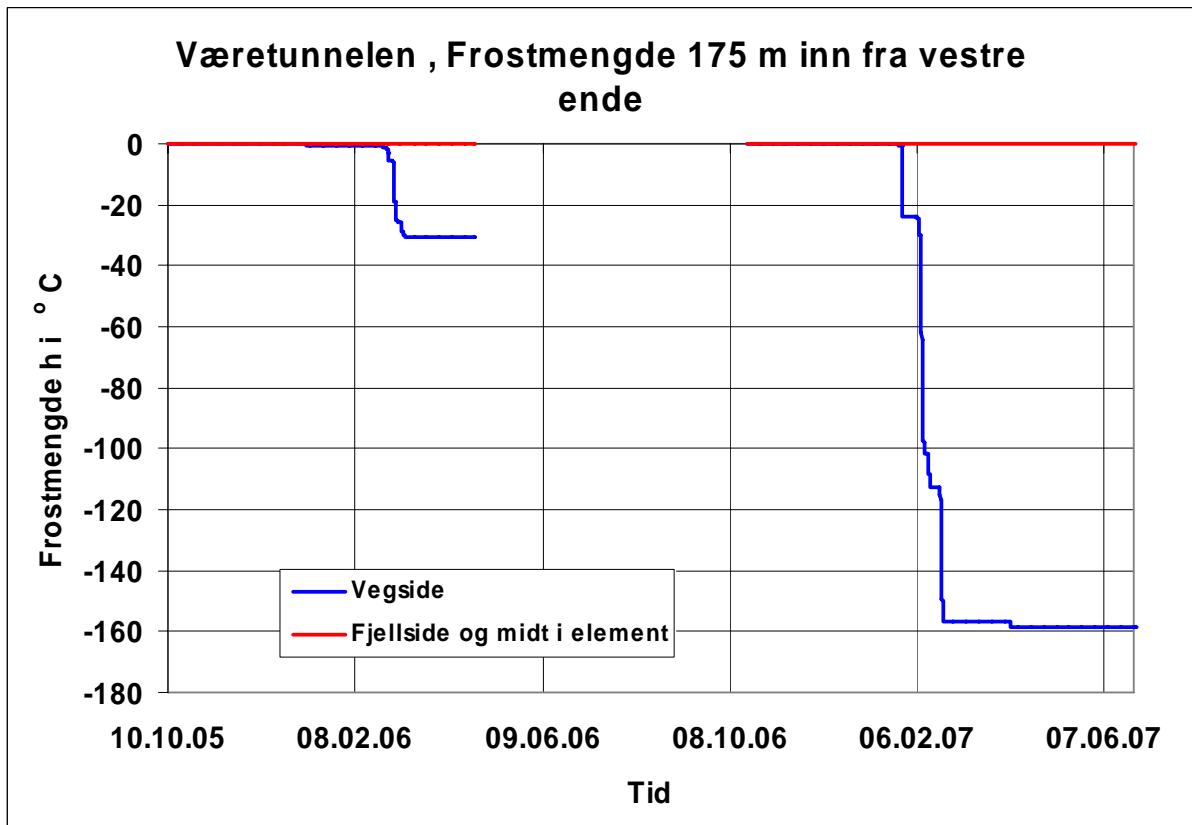
Sammenlignet med temperaturnormalene fra Meteorologisk Institutt var månedene desember 2005, januar 2006 og februar 2006 varmere enn normalt, mens mars 2006 var betydelig kaldere. Samlet sett var vinteren 2005/2006 som normalt.

4.2 Frostmengder registrert vinteren 2005/2006 og 2006/2007

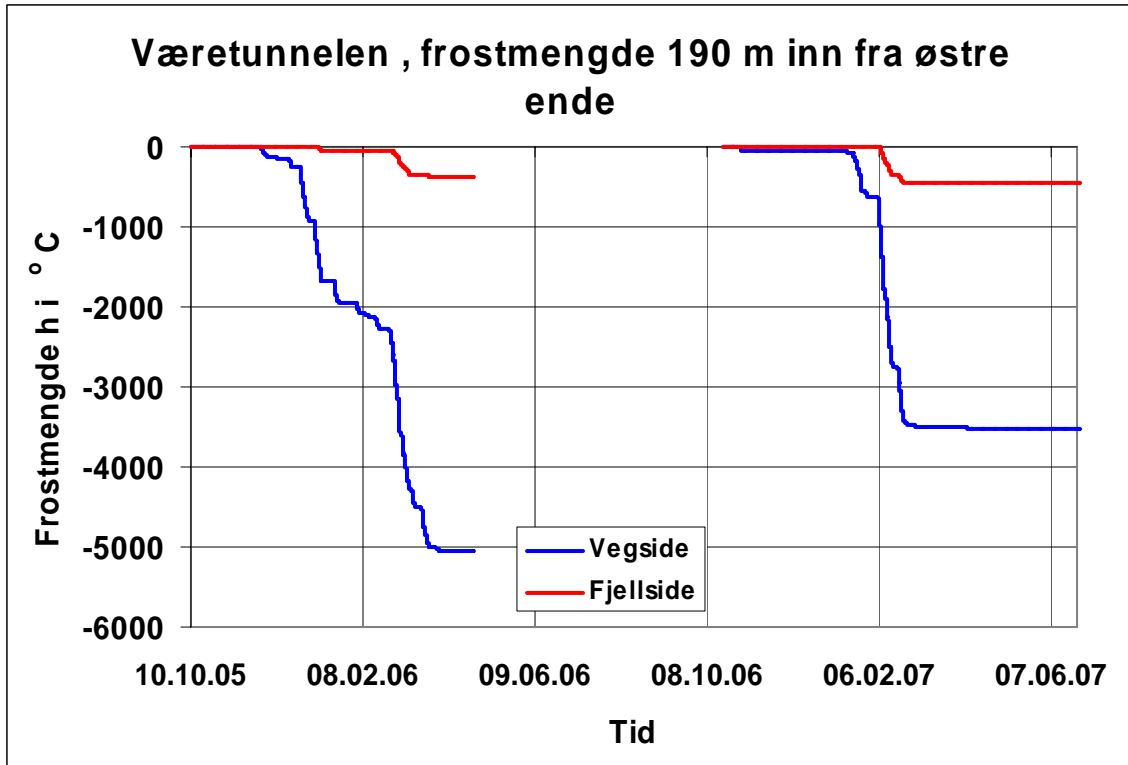
På grunnlag av de registrerte temperaturene er frostmengder beregnet. Akkumulerte frostmengder for periodene vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007 er vist i etterfølgende diagrammer, figurene 2, 3, 4 og 5. Bemerk at **y-aksene har ulik skala!**



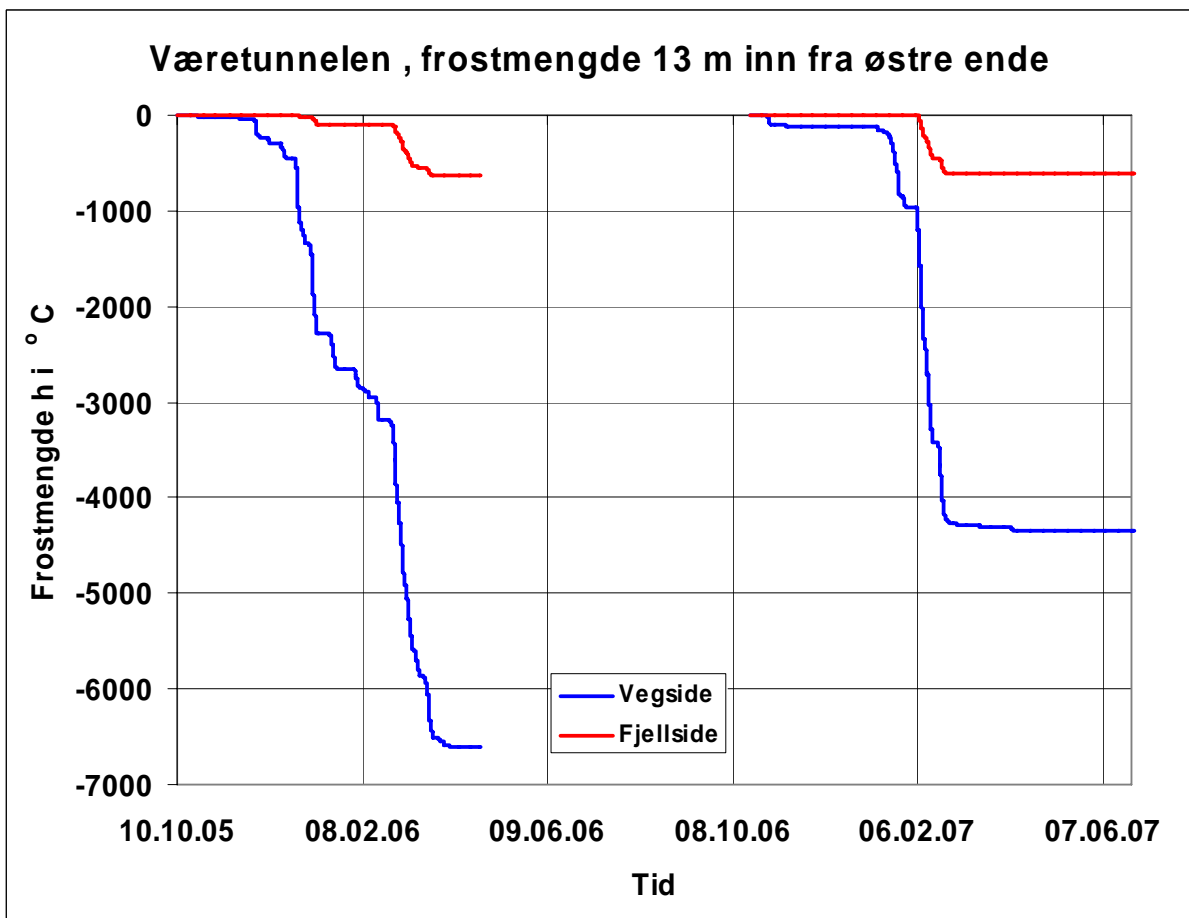
Figur 2 Registrerte frostmengder - Område A



Figur 3 Registrerte frostmengder - Område B



Figur 4 Registrerte frostmengder - Område C



Figur 5 Registrerte frostmengder - Område D

Frostmengder registrert vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007 fremgår av tabell 3.

Tabell 3 Væretunnelen
Frostmengder registrert vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007.

Område	Logger Serie nr.	Plassering	Frostmengde h°C	
			2005/2006	2006/2007
A	vest	vegside	207	403
		midt i element	0	0,8
	24 m	fjellside	0	0
B	vest	vegside	30	159
		midt i element	0	0
	175 m	fjellside	0	0
C	øst	vegside	5048	3518
	190 m	fjellside	364	456
D	øst	vegside	6612	4355
	13 m	fjellside	637	603

Målingene viser at frostpåkjenningene er vesensforskjellige ved vestre henholdsvis østre tunnelåpning. Frostmengde registrert på vegsiden, 24 meter inn fra vestre tunnelåpning, øker fra beskjedne 207 h°C vinteren 2005/2006 til 403 h°C året etter (fremdeles beskjedent). På vegsiden 13 meter inn fra østre tunnelåpning var frostmengden vinteren 2005/2006 6612 h°C mot 4355 h°C sist vinter. Sistnevnte verdier ligger noe lavere enn de verdier regelverket angir.

Årsaken til de store forskjellene mellom temperaturer målt ved tunnelåpningene i øst og vest er uklar, men målingene utført over de siste to årene synes å bekrefte denne forskjellen. Et forhold som i noen grad kan forklare forskjellene er det faktum at Væretunnelen går i stigning fra nivå 114 meter i vest til et høydebrett før den faller til nivå 105 meter ved østre tunnelåpningen.

Målingene viser at tunnelementene isolerer bedre mot frost enn hva lettbetongens varmekonduktivitet skulle tilsi. De registrerte frostmengdene bak hvelvet er for begge årene null på vestsiden og beskjedne 600 h°C på østsiden. Dette skyldes at tunnelementene i tillegg til å isolere også tetter hulrommet bak elementet slik at man kan gjøre seg nytte av varme fra fjellet, frysevarme etc.

5. Konklusjon

Det er vinteren 2005/2006 og vinteren 2006/2007 utført kontinuerlige temperaturmålinger på lettbetonghvelvet i Væretunnelen.

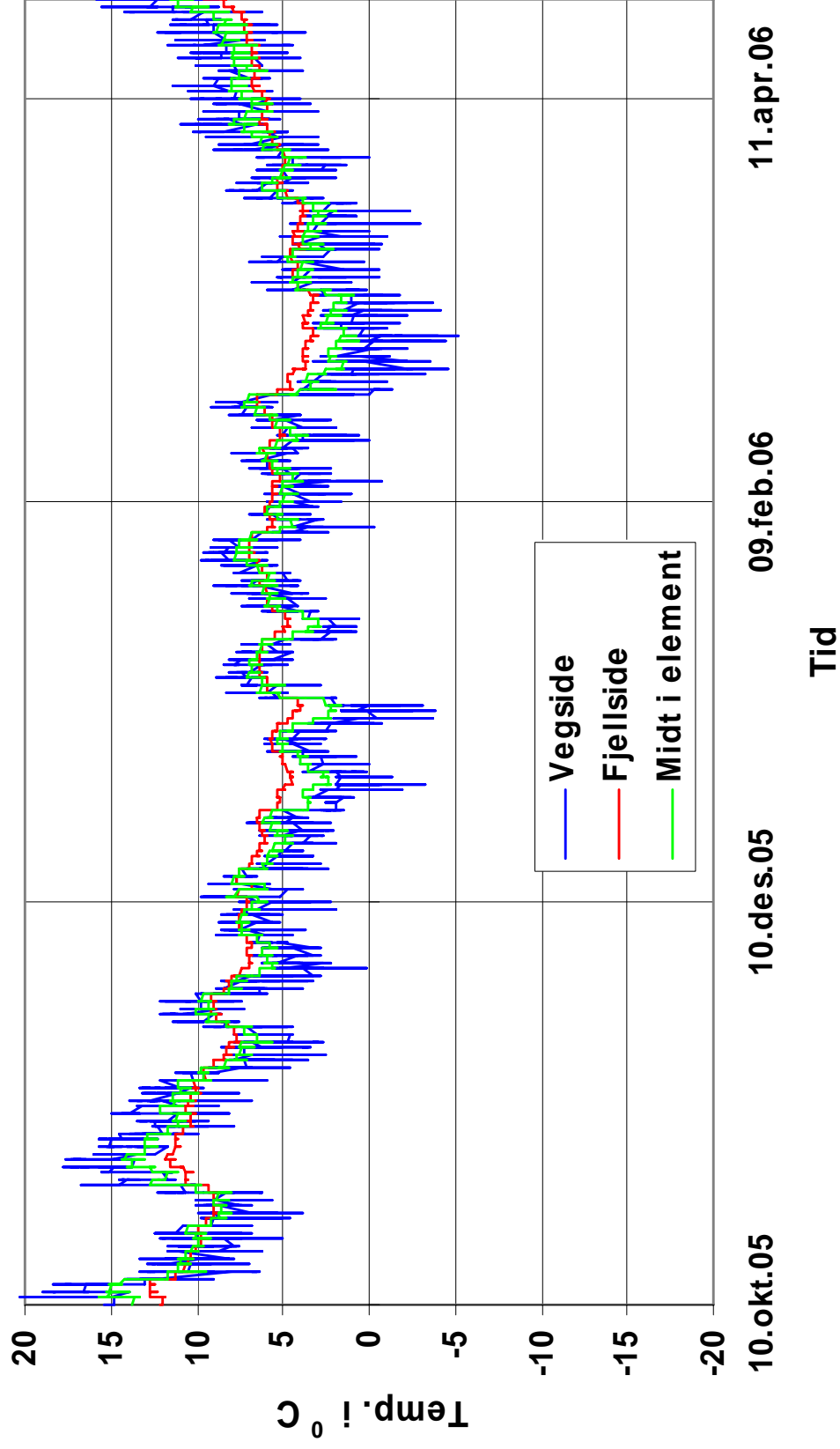
- Målingene viser store temperaturforskjeller mellom vestre tunnelåpning på Trondheimsiden og østre tunnelåpning på Malviksiden.
- Målinger utført på veg- og fjellside viser at tunnelhvelvet har effekt både gjennom å isolere og tette hulrommet bak elementene.
- Temperaturregistreringene er sammenholdt med verdier fra regelverk og offisielle temperaturnormaler, perioden 1961 – 1990.
- Målingene gjennomført vinteren 2006/2007 ga frostmengder av samme størrelsesorden som det som ble registrert vinteren 2005/2006. Frostmengdene, registrert bak hvelvet var ubetydelig høyere enn det som ble registrert for året 2006/2007, mens registrert frostmengde ved østre tunnelåpning lå mer enn 2000 h°C lavere enn året før.
- Målingene fortsetter.

Vedlegg 1

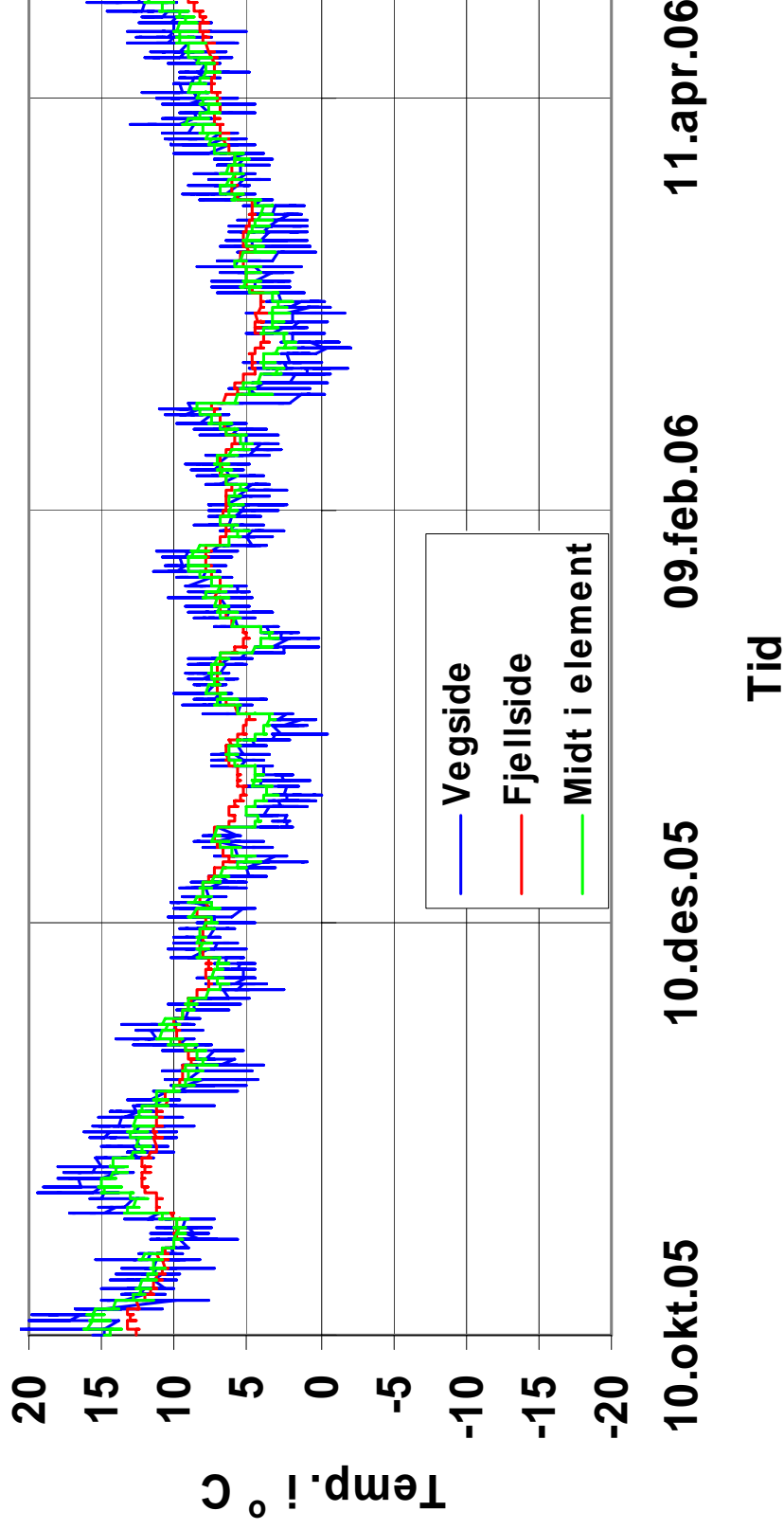
Temperaturregistreringer vinteren 2005/2006

- **Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning**
- **Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning**
- **Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning**
- **Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning**

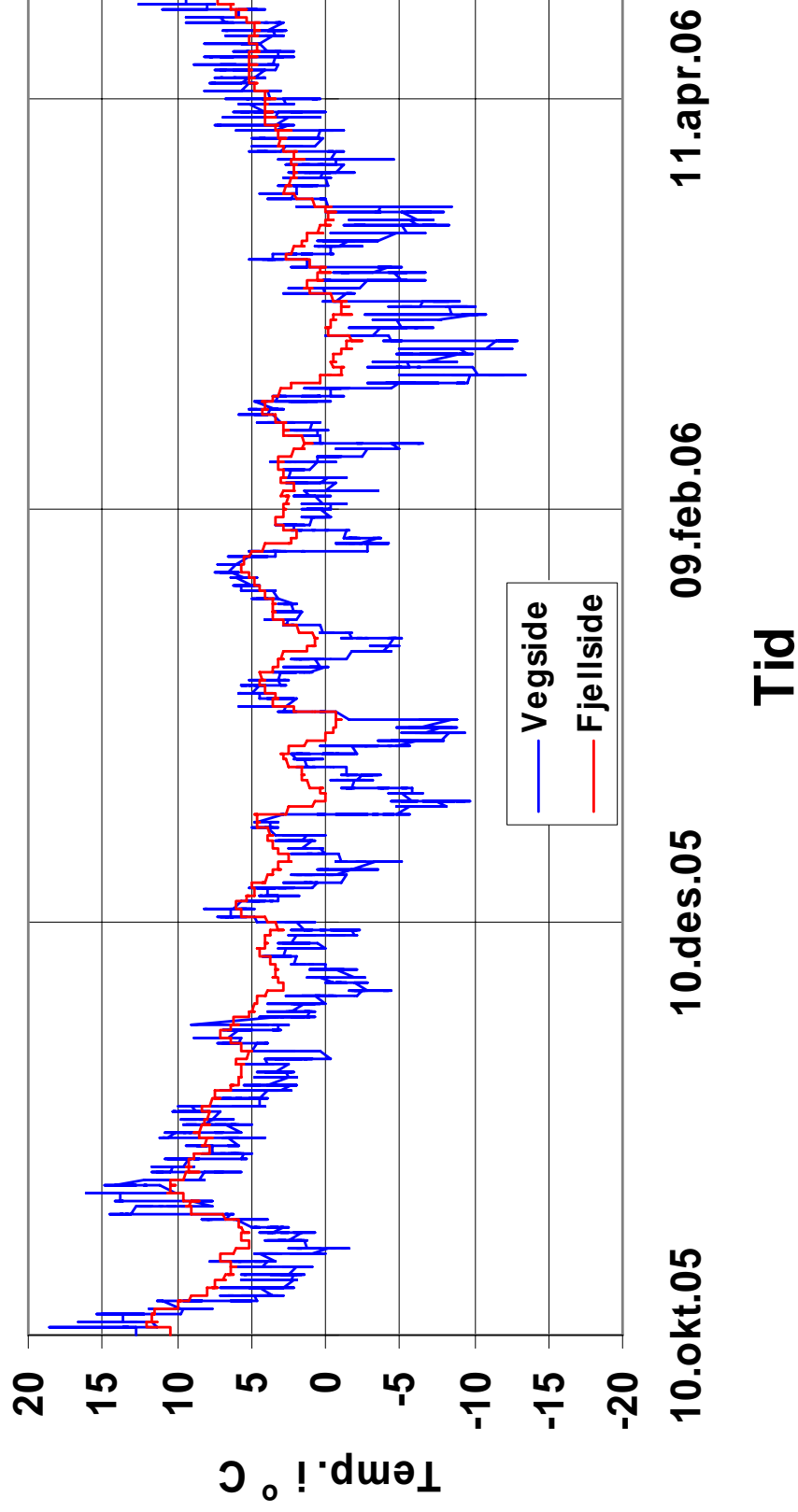
Væretunnelen , Temperaturmålinger 24 m inn fra vestre ende



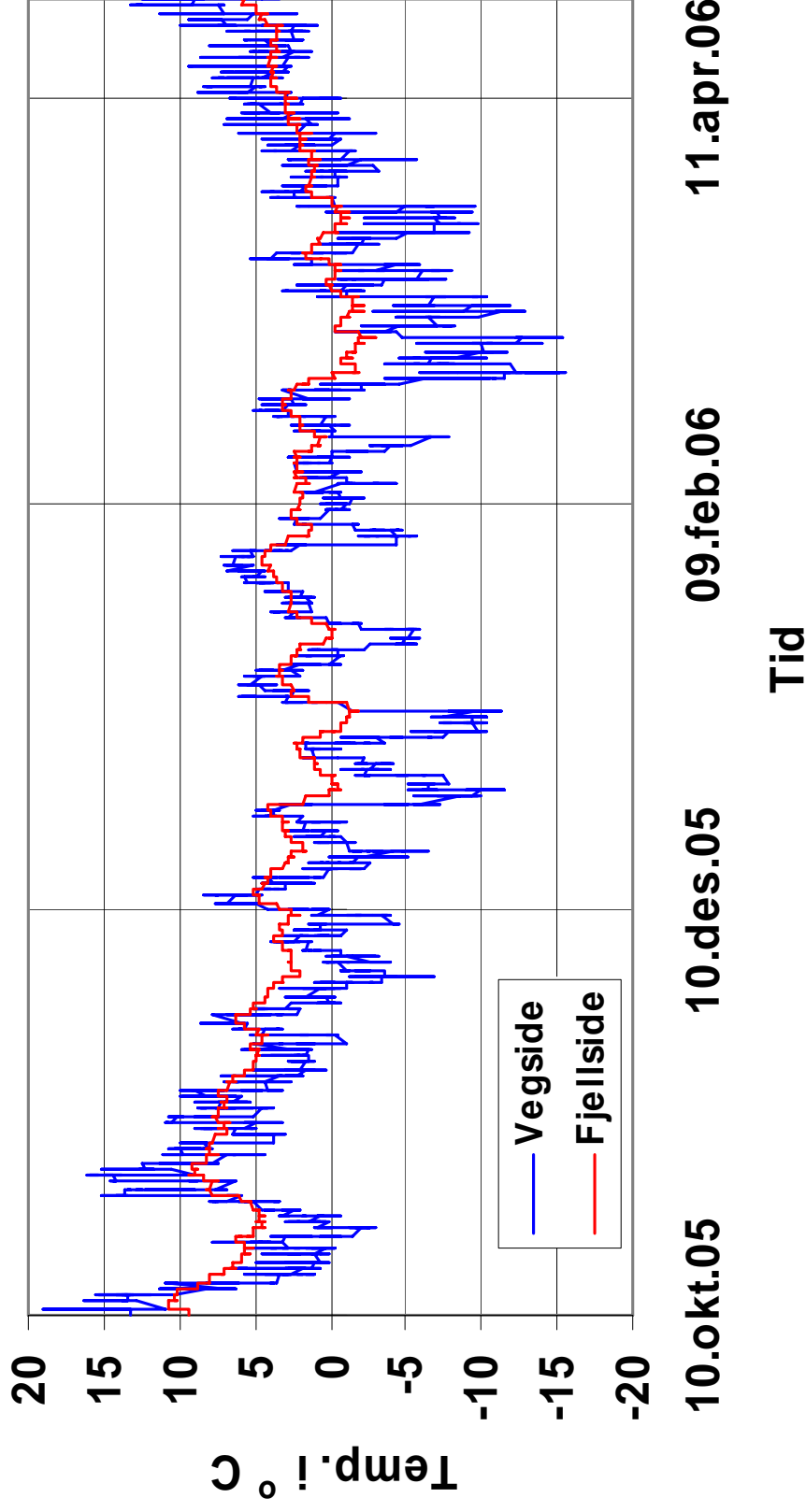
Væretunnelen , Temperaturmålinger 175 m inn fra vestre ende



Væretunnelen , Temperaturmålinger 190 m fra østre ende



Væretunnelen , temperaturmålinger 13 m inn fra østre ende



Vedlegg 2

Temperaturregistreringer vinteren 2006/2007

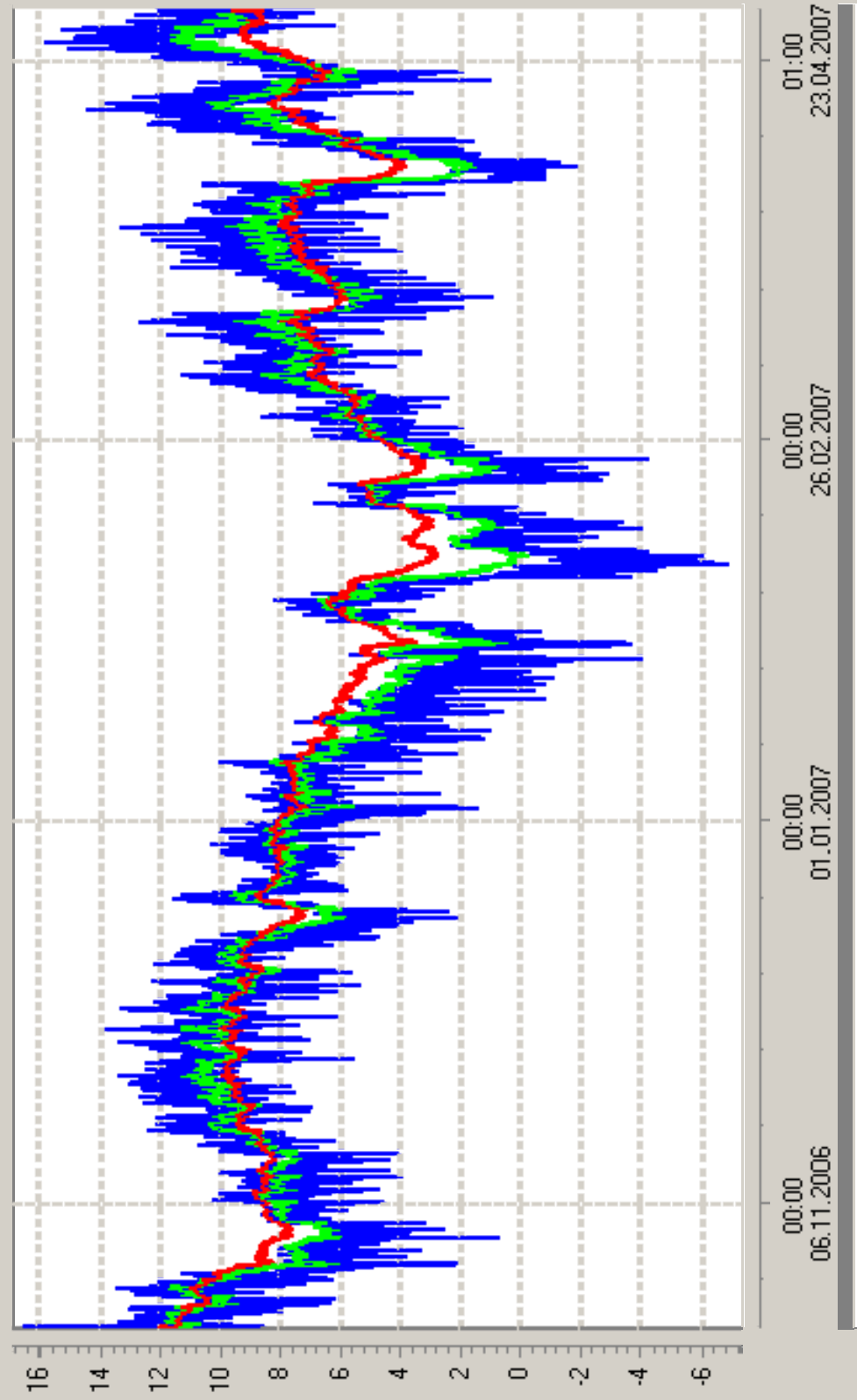
- **Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning**
 - **vegside**
 - **midt i element**
 - **fjellside**
- **Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning**
 - **vegside**
 - **midt i element**
 - **fjellside**
- **Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning**
 - **vegside**
 - **fjellside**
- **Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning**
 - **vegside**
 - **fjellside**

Info table (1)

Färg	Enhet	Beskrivning	Medel	Min	Max
Blue	°C	Värdet	8,76	-8,51	18,27
Green	°C	Medel i element	8,84	-0,20	11,86
Red	°C	Med i el	7,18	2,80	11,35

°C Væretunnelen , 24 m fra vestre ende

Statens vegvesen



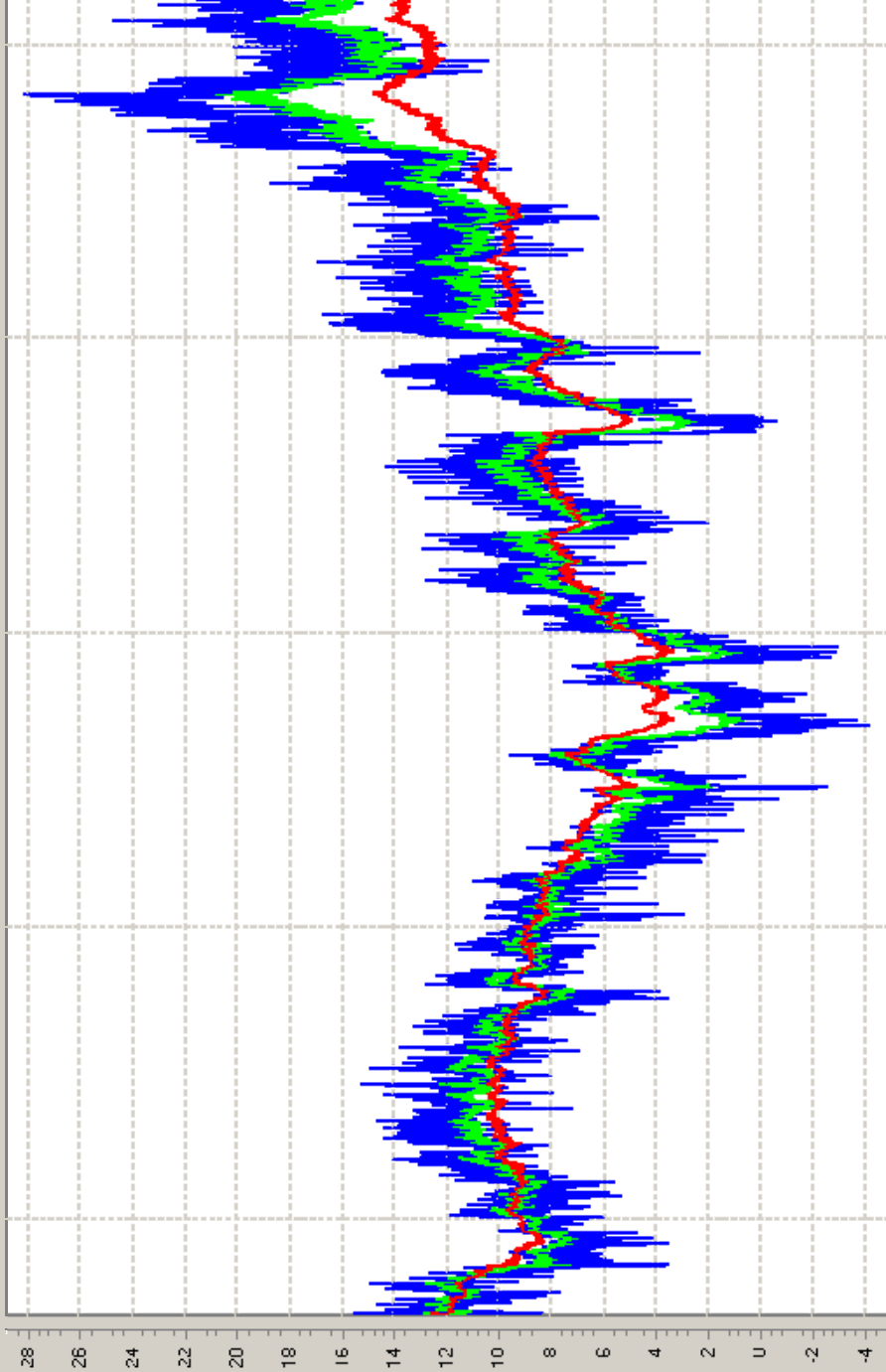
Væretunnelen, 24 m fra vestre tunnelåpning

Info table

Følg	Enhed	Benævnelse	Med	Min	Max
001	°C	Vægside	8,77	-4,12	23,18
002	°C	Middelt indeklima	8,28	0,88	20,75
003	°C	Middelt ud.	8,74	3,34	14,78

°C Væretunnelen, 175 m fra vestre ende

Statens vegvesen



00:00
06.11.2006

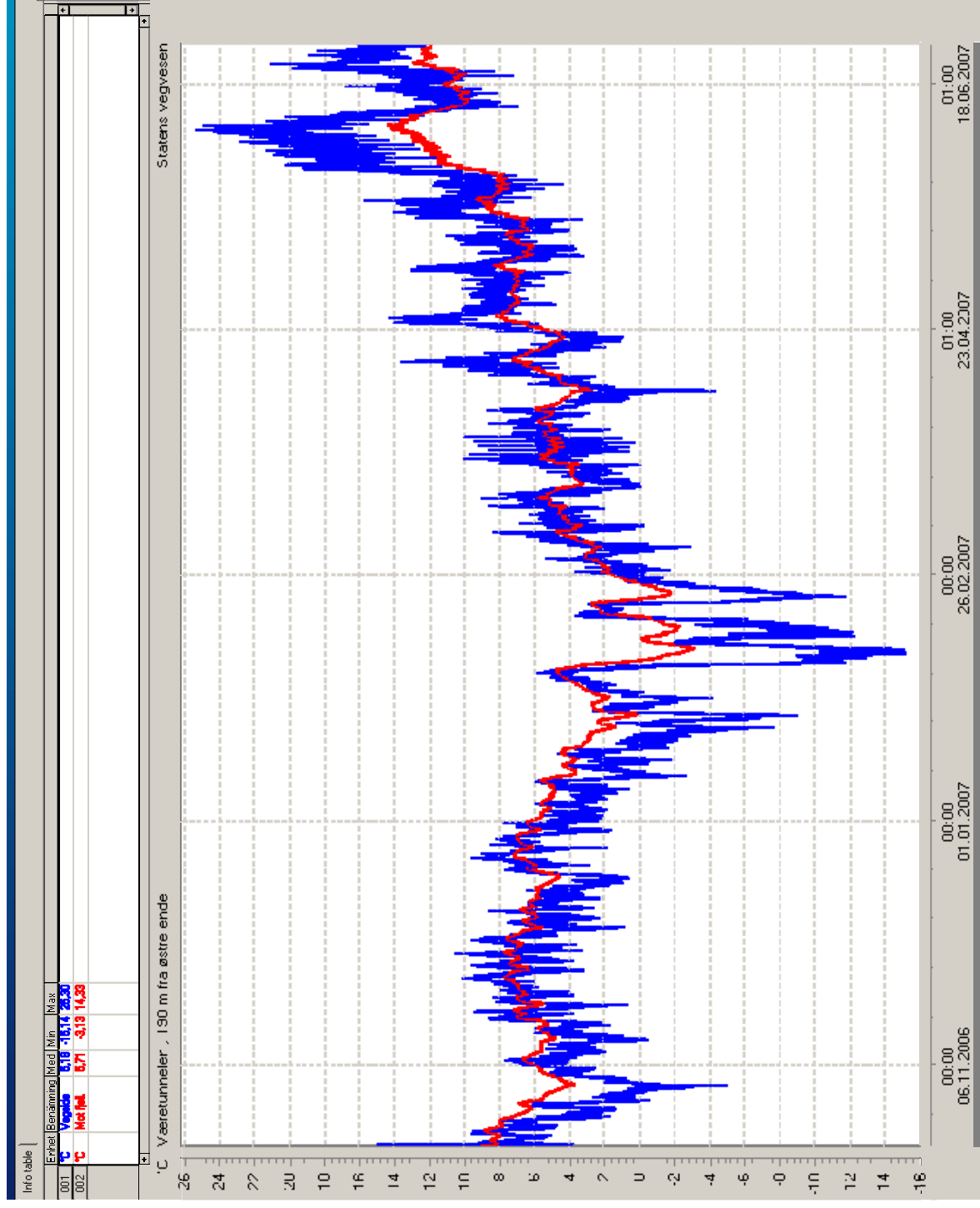
00:00
01.01.2007

00:00
26.02.2007

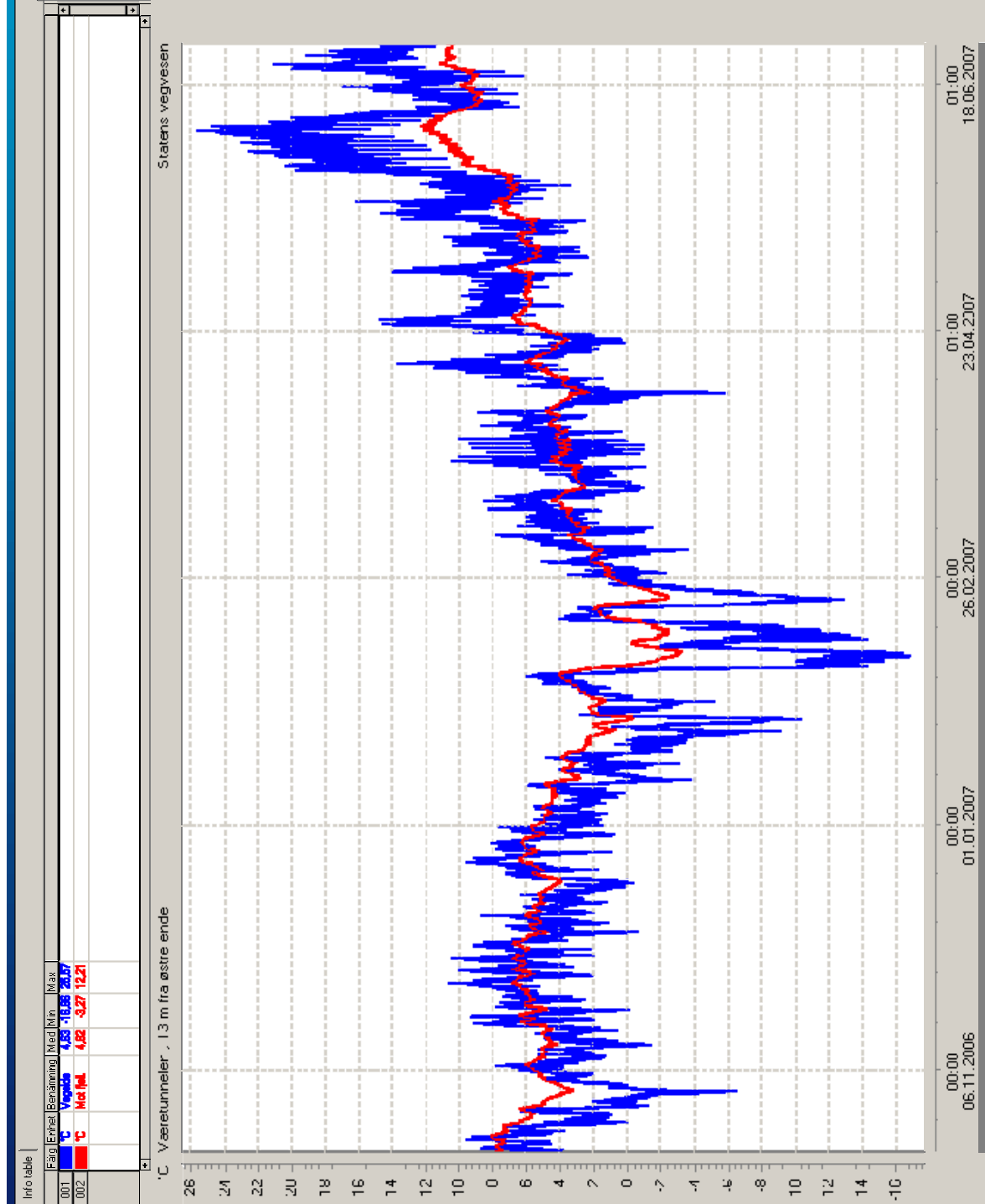
01:00
23.04.2007

01:00
18.06.2007

Væretunnelen, 175 m fra vestre tunnelåpning



Væretunnelen, 190 m fra østre tunnelåpning



Væretunnelen, 13 m fra østre tunnelåpning



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005