



Statens vegvesen

LETTBETONG I TUNNELHVELV
Temperaturmålinger
Lettbetongelementer - Væretunnelen

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2474



Materialteknisk seksjon
Dato: 2006-10-20



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2474

Tittel

LETTBETONG I TUNNELHVELV Temperaturmålinger Lettbetongelementer - Væretunnelen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Finn Fluge

Dato:

2006-10-20

Saksbehandler

Finn Fluge

Prosjektnr:

601350

Kontrollert av

Kjersti K. Dunham

Antall sider og vedlegg:

11/4

Sammendrag

Rapporten behandler kontinuerlige temperaturmålinger utført på lettbetonghvelvet i Væretunnelen, lokalisert til E6, øst for Trondheim. Målingene er gjennomført vinteren 2005/2006 fra oktober til april.

Temperaturer er registrert i fire områder, to nær tunnelåpningene samt 175 og 190 meter inn fra hver side. Sensorene er plassert midt i lettbetongelementet samt på veg- og fjellsiden. Målingene er ledd i arbeidet med vurdering av skader på lettbetonghvelvet forårsaket av påkjenninger fra frost og vann.

På grunnlag av de utførte temperaturregistreringene er det beregnet frostmengder på vegsiden og på elementets bakside. Målingene viser at det er stor forskjell mellom temperaturnivåene registrert ved vestre og østre tunnelåpning. Frostmengdene øker fra 200 hoC ved vestre åpning til 6600 hoC ved østre åpning. Frostmengder på baksiden av elementene varierer fra 0 hoC i vest til 650 hoC i øst. De målte temperaturene er sammenholdt med regelverket for dimensjonerende frostmengder, Håndbok 018 Vegbygging, og meteorologiske temperaturnormaler.

Summary

The report deals with temperatures automatically recorded every one hour on lightweight concrete elements installed in the Væretunnel, located on E6 east of Trondheim. The recordings were performed during the winter 2005/2006 from October to April.

The temperatures were recorded in four areas, two near the entrances and 175 and 190 meter from the west and east tunnel opening, respectively. The recordings were performed by three sensors in each area, placed on both sides and in the middle of the lightweight element. The monitoring programme is part of the evaluation of damages on the lightweight elements caused by action from frost and water.

The Frost Index, hoC, (the number of hours with temperature below zero multiplied by the recorded temperature in degree Celsius) increases from 200 hoC on the west side to 6600 hoC at the east tunnel opening. The recorded temperatures are compared with internal guidelines and meteorological averages.

Emneord:

Temperaturmålinger, frostmengder, lettbetong og tunnelhvelv

Innhold

1. Innledning.....	2
2. Lokalisering.....	2
2.1 Væretunnelen - koordinater.....	2
2.2 Temperaturloggere	3
3. Temperaturmålinger	3
4. Frostmengder.....	7
4.1 Regelverk - normaler.....	7
4.2 Frostmengder registrert vinteren 2005/2006	8
5. Konklusjon	11

Vedlegg

Diagram i stor målestokk

- Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26. april 2006 Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning
- Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26.april 2006 Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning
- Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26.april 2006 Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning
- Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 – 26.april 2006 Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning

1. Innledning

Som ledd i oppfølgingen av tunnelelementene i lettbetong som ble montert i Væretunnelen er det fra 2. mars 2005 utført kontinuerlige temperaturmålinger i fire områder av tunnelen. Denne rapporten behandler resultatene fra vinteren 2005/2006. Målingene fortsetter og det vil også bli målt temperaturer vinteren 2006/2007.

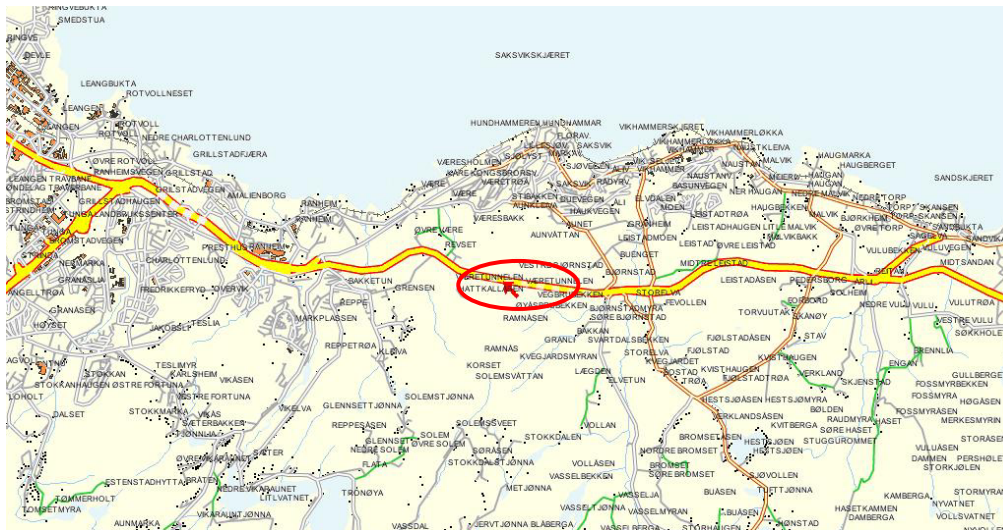
Væretunnelen ligger på E6 på grensen mellom Trondheim og Malvik kommuner. Håndbok 018 "Vegbygging" angir for Trondheim og Malvik kommuner en årsmiddeltemperatur på 5°C og frostmengde F₂ på henholdsvis 7000 og 6000 h°C.

På grunnlag av temperaturregistreringene beregnes opptrедende frostmengder for vinteren 2005/2006, verdier som inngår i vurderingen av tunnelhvelvets tilstand. Temperaturmålingene benyttes som grunnlag ved evaluering 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 - vestsida 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 på elementsiden inn mot fjellet - totalt 2 følere i hvert område.

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 har pågått gjennom to perioder:

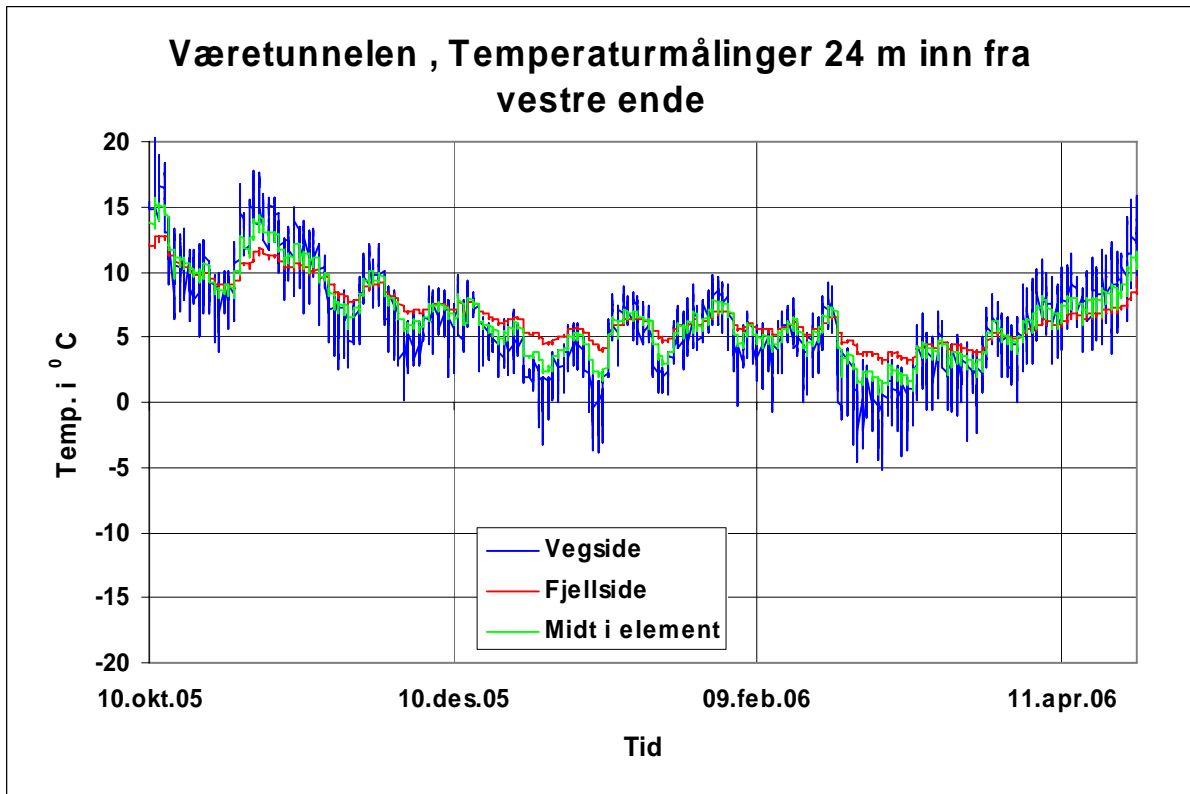
perioden	2/3 til 10/10 2005, avlest 10.oktober 2005 og
perioden	10/10- 2005 til 26/4-2006, avlest 26. april 2006

Det gjennomføres nå en tredje måleperiode med planlagt avlesning medio oktober 2006.

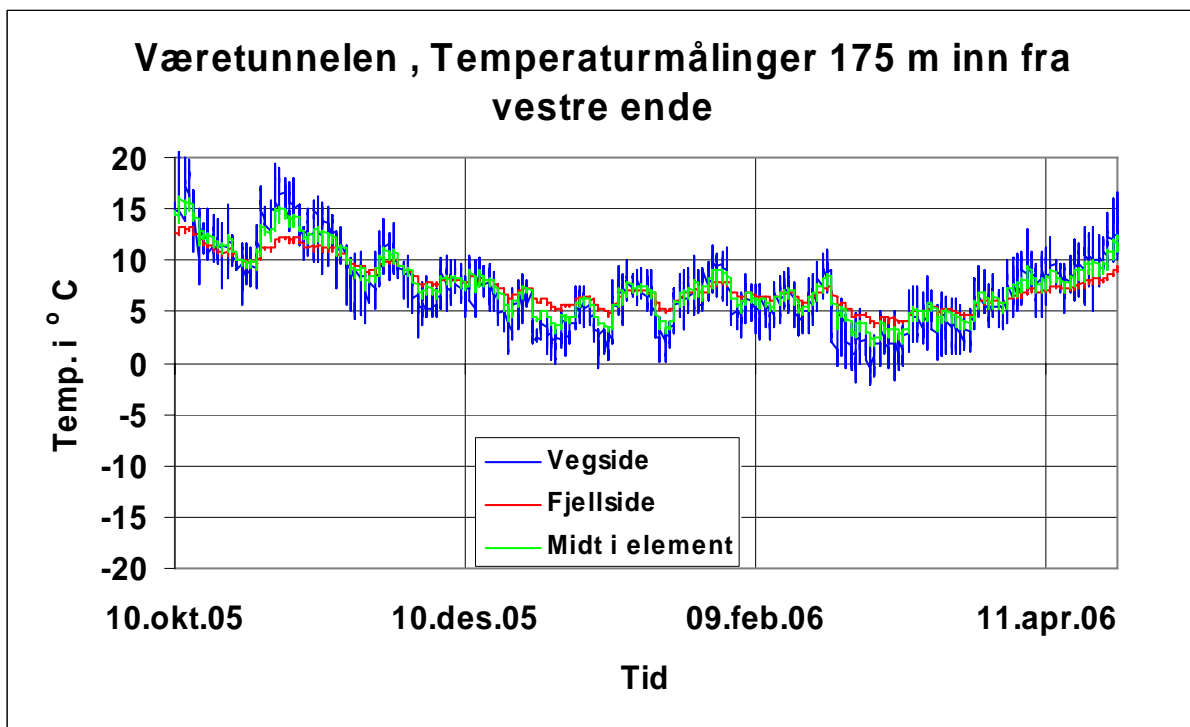
Den første måleperioden refererer seg til sommerhalvåret 2005. Temperaturregistreringer fra denne perioden er tidligere publisert i Rapport nr. 2449 fra Teknologivdelingen "LETTBETONG I TUNNELHVELV"

De temperaturmålingene som er utført innen ett område samsvarer godt med hverandre. Temperaturvariasjonene, registrert på vegsiden er store, men variasjonene finnes igjen, i avdempet form, på målinger registrert midt i elementet og på elementets fjellside. Da loggerne registrerer temperaturene uavhengig av hverandre er dette samsvaret en garanti for at de utførte målingene er korrekte.

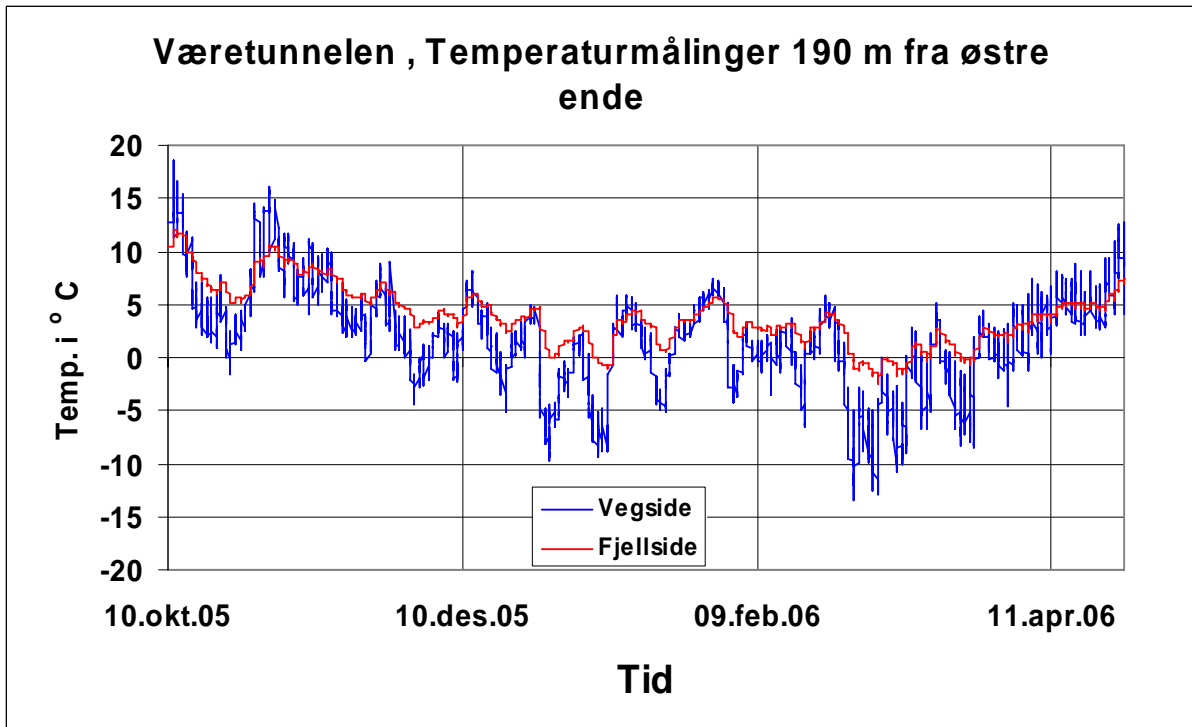
Temperaturer registrert i perioden 10/10-2005 til 26/4-2006 for de fire områdene er fremstilt grafisk i figurene nr. 2, 3, 4 og 5. For dem som ønsker en mer detaljert oversikt over temperaturforløpet vises det til Vedlegg 1, hvor diagrammene er fremstilt i større målestokk.



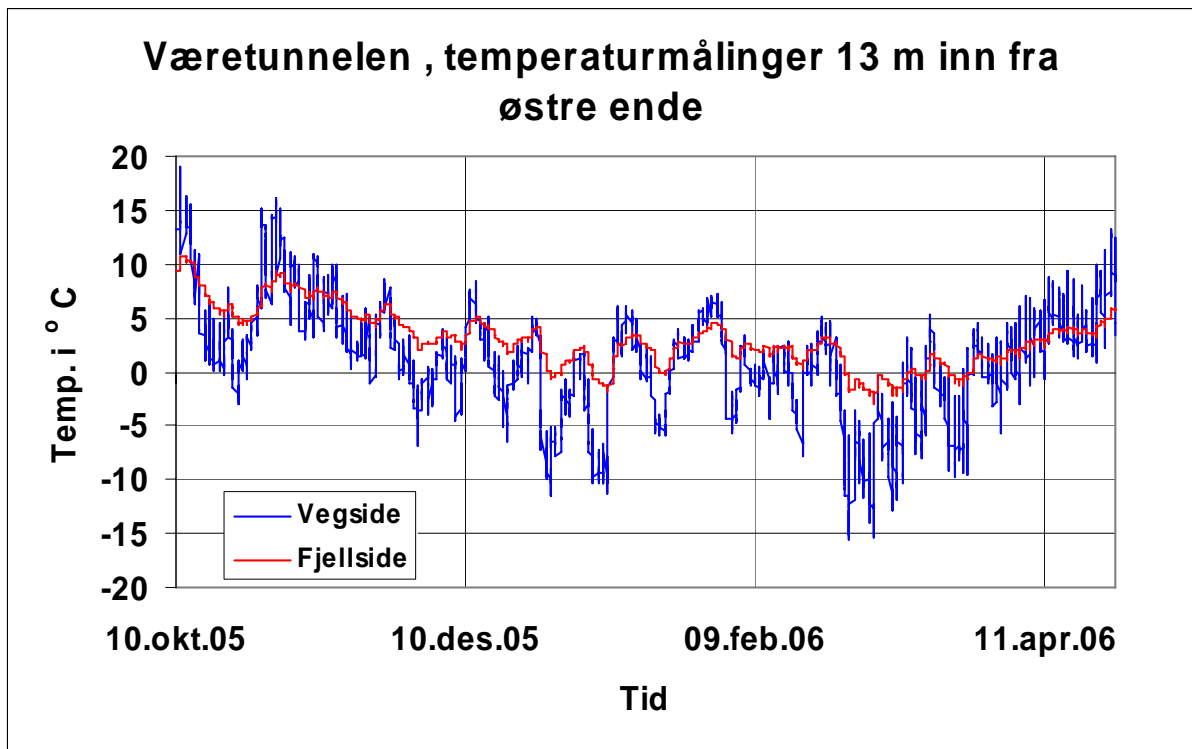
Figur 2 Temperaturregistreringer - Område A



Figur 3 Temperaturregistreringer - Område B



Figur 4 Temperaturregistreringer - Område C



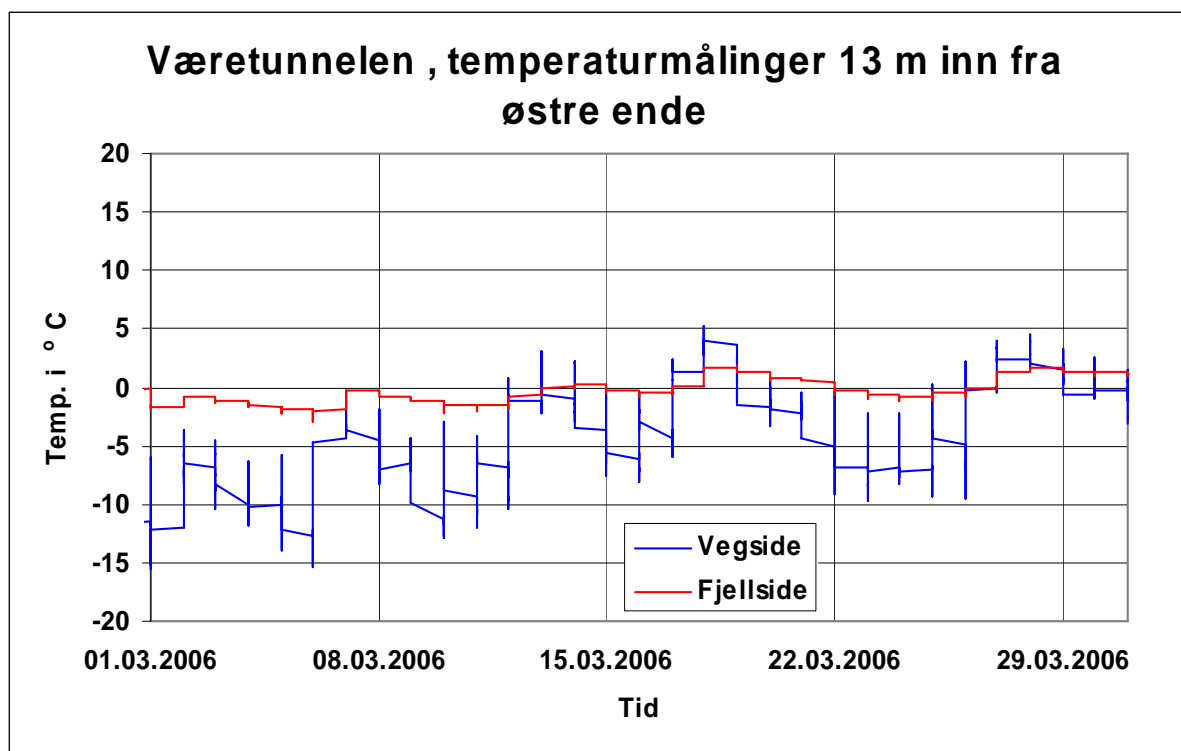
Figur 5 Temperaturregistreringer - Område D

Et sammendrag av temperaturmålingene for perioden er gitt i tabell 1. Bemerk den store temperaturforskjellen mellom vestre og østre tunnelåpning hvor lavest målte temperatur er $-5,2^{\circ}\text{C}$ i vest og $-15,6^{\circ}\text{C}$ i øst.

Tabell 1 Væretunnelen

Sammendrag temperaturregistreringer i perioden fra 10. oktober 2005 til 26. april 2006.

Område	Logger Serie nr.	Plassering	Temperatur $^{\circ}\text{C}$		
			middel	min / maks	
A	vest	272591	vegside	6,3	$-5,2 / +20,3$
	24 m	278568	midt i element	6,4	$+0,7 / +15,7$
		272593	fjellside	6,6	$+3,0 / +12,8$
B	vest	272596	vegside	7,4	$-2,2 / +20,9$
	175 m	278569	midt i element	7,4	$+1,6 / +16,3$
		276237	fjellside	7,4	$+3,5 / +13,2$
C	øst	276242	vegside	2,1	$-13,5 / +18,6$
	190 m	276241	fjellside	3,9	$-2,5 / +12,0$
D	øst	276238	vegside	1,4	$-15,6 / +19,1$
	13 m	276239	fjellside	3,0	$-2,9 / +10,7$



Figur 6 Temperaturregistrering, for perioden 1/3 - 31/3.2006 – Område D

Figur 6 viser temperaturregistreringene fra område D målt i mars 2006. Dette var den kaldeste perioden vinteren 2005/2006. Fra 1/3-2006 til 31/3-2006 ble det registrert temperaturer i den østlige tunnelåpningen ned til $-15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lavest målte temperatur på baksiden av elementet var i samme periode $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, med $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ som gjennomsnitt for 13 sammenhengende døgn med frost på elementets fjellside. Elementene i område D ble utsatt for de største frostbelastningene.

Av temperaturregistreringene gjennomført vinteren 2005/2006, totalt 197 døgn med registrering, var det på elementsiden inn mot fjellet 24 døgn hvor døgngjennomsnittet kom under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Antall døgn med sammenhengende frost på elementets bakside varierte fra ett til 13 døgn.

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 Årsmiddeltemperatur og frostmengder for Trondheim og Malvik

	Trondheim	Malvik
Årsmiddeltemperatur t_m :	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
	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 $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Malvik: m.o.h. = 10 meter $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

Trondheim: $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Malvik: $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $+0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

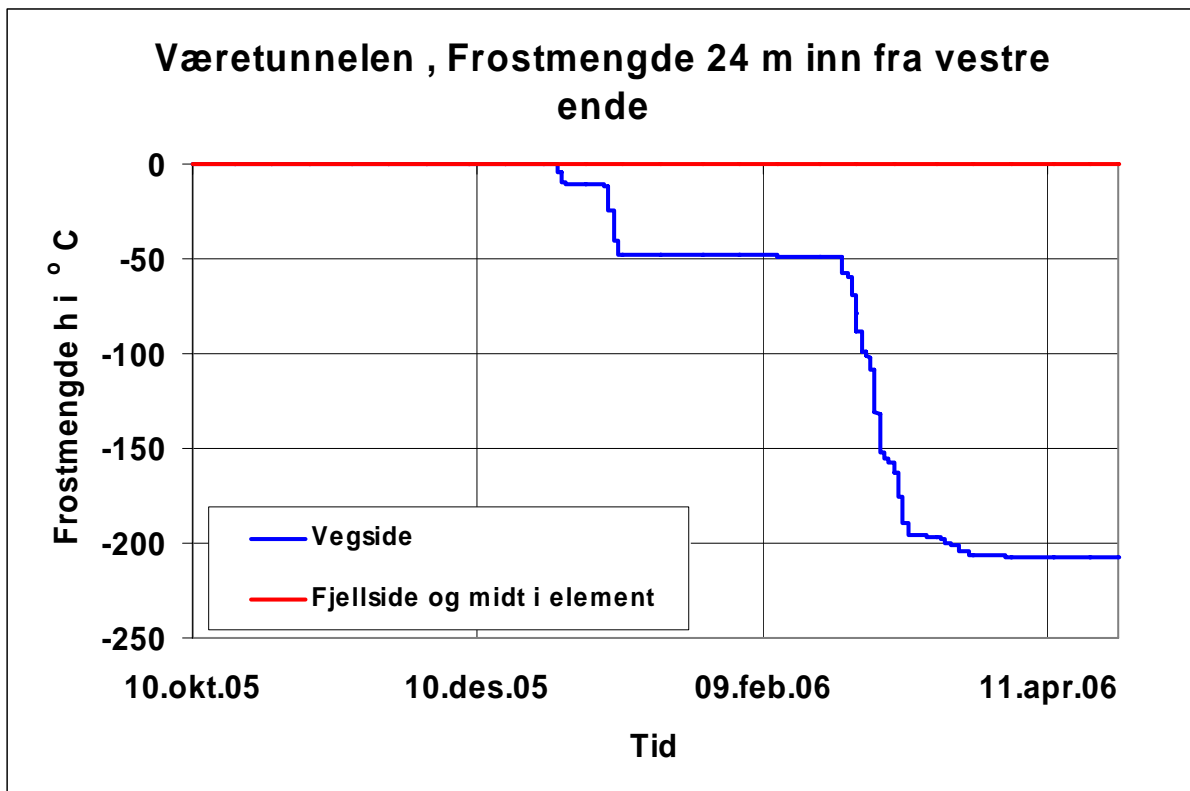
Målinger utført på Værnes i perioden desember 2005 til april 2006 viste følgende månedsmiddel.

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

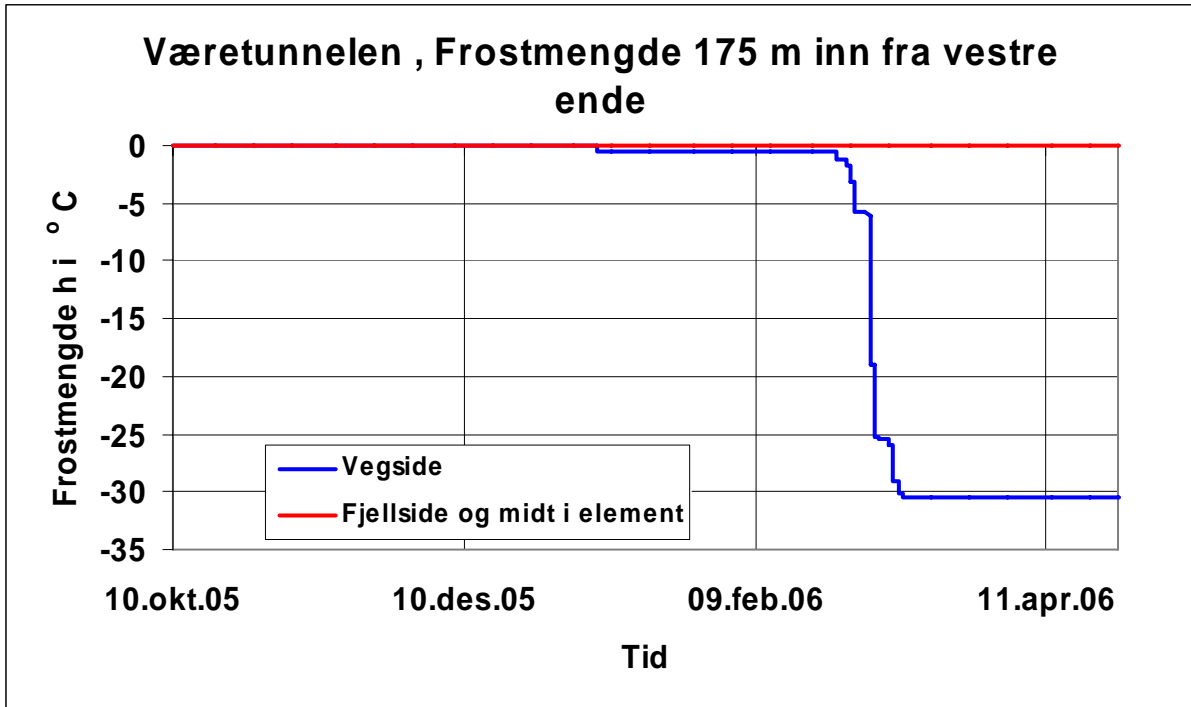
Sammenlignet med temperaturnormalene fra Meteorologisk Institutt var månedene desember 2005, januar 2006 og februar 2006 varmere enn normalt, mens mars 2006 var betydelig kaldere. Samlet sett var vinteren 2005/2006 som normalt.

4.2 Frostmengder registrert vinteren 2005/2006

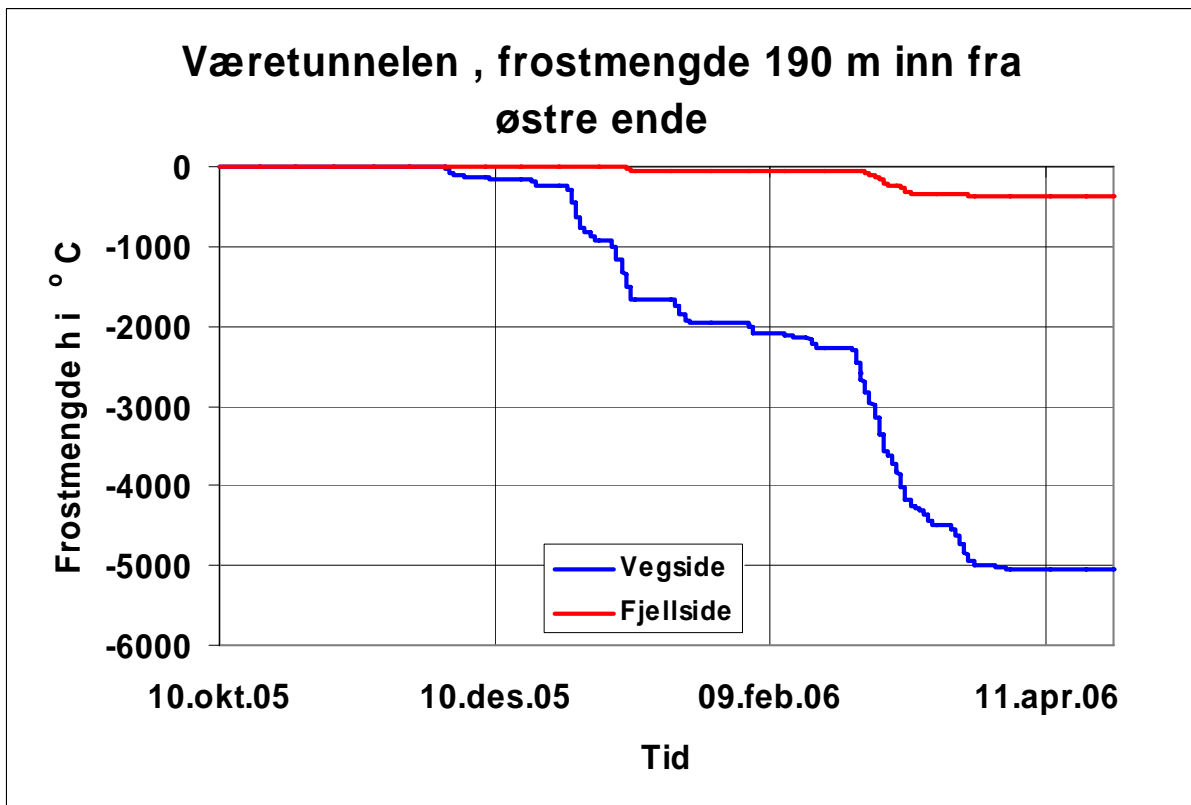
På grunnlag av de registrerte temperaturene er frostmengder beregnet. Akkumulerte frostmengder for perioden 10/10-2005 til 26/4-2006 er vist i diagrammene, figurene 7, 8, 9 og 10. Bemerk at y-aksene har ulik skala!



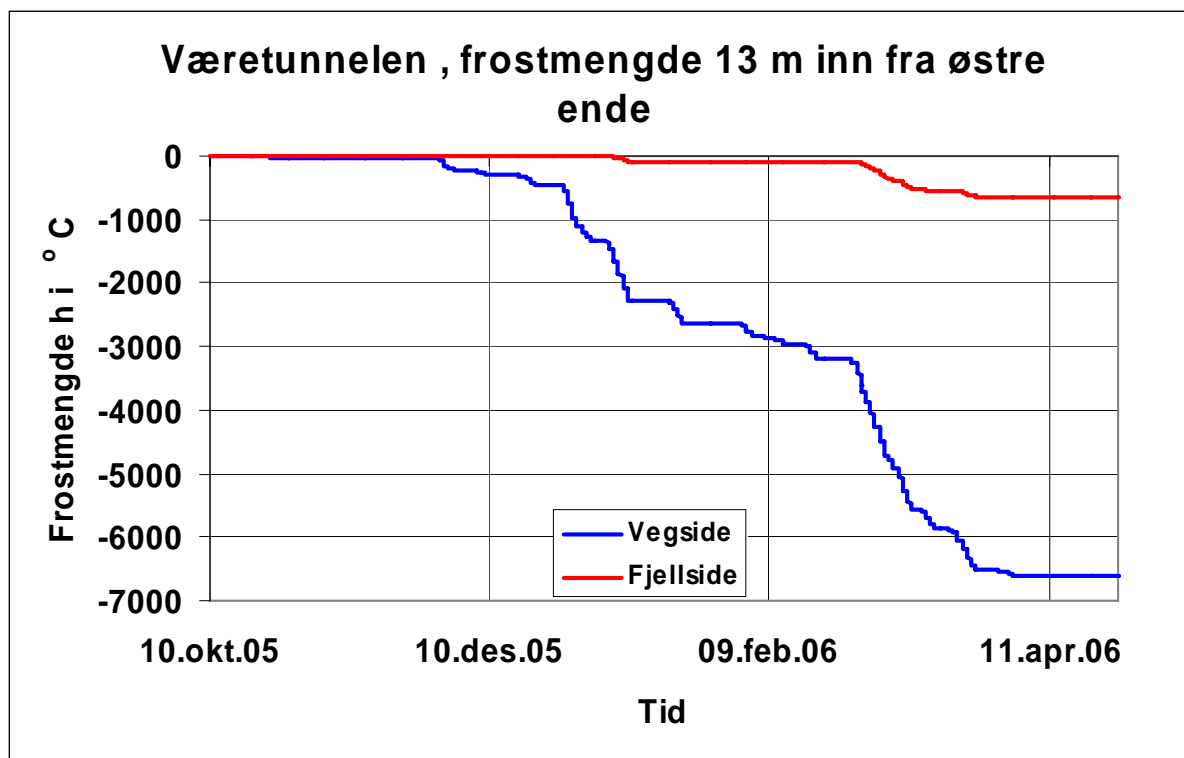
Figur 7 Registrerte frostmengder - Område A



Figur 8 Registrerte frostmengder - Område B



Figur 9 Registrerte frostmengder - Område C



Figur 10 Registrerte frostmengder - Område D

Et sammendrag av de frostmengdene som totalt ble registrert i løpet av vinteren 2005/2006 fremgår av tabell 3.

Målingene viser at frostpåkjenningene er vesensforskjellige ved vestre og østre tunnelåpning. Mens registrert frostmengde på vegsiden, 24 meter inn fra vestre tunnelåpning, er beskjedne 207 h°C er frostmengdene 13 meter inn fra østre tunnelåpning 6612 h°C. Sistnevnte verdi samsvarer med de verdier man, basert på regelverket, forventet seg.

Årsaken til den store forskjellen er uklar og det må gjennomføres målinger over flere år før man har et tilstrekkelig datagrunnlag for en forklaring. Et forhold som spiller en rolle er det faktum at Væretunnelen går i stigning fra nivå 114 meter i vest til et høydebrekk før den faller til nivå 105 meter ved østre tunnelåpningen.

Målingene viser også at tunnelementene isolerer bedre mot frost enn hva lettbetongens varmekonduktivitet skulle tilsi. De registrerte frostmengdene reduseres i det aktuelle tilfellet fra 6612 h°C på vegsiden til 637 h°C på fjellsiden. 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.

Tabell 3 Væretunnelen

Sammendrag frostmengder registrert i perioden 10. oktober 2005 til 26. april 2006.

Område	Logger Serie nr.	Plassering	Frostmengde h°C
A	vest	vegside	207
		midt i element	0
	24 m	fjellside	0
B	vest	vegside	30
		midt i element	0
	175 m	fjellside	0
C	øst	vegside	5048
	190 m	fjellside	364
	øst	vegside	6612
D	13 m	fjellside	637

5. Konklusjon

Det ble vinteren 2005/2006 utført kontinuerlige temperaturmålinger på lettbetonghvelvet i Væretunnelen.

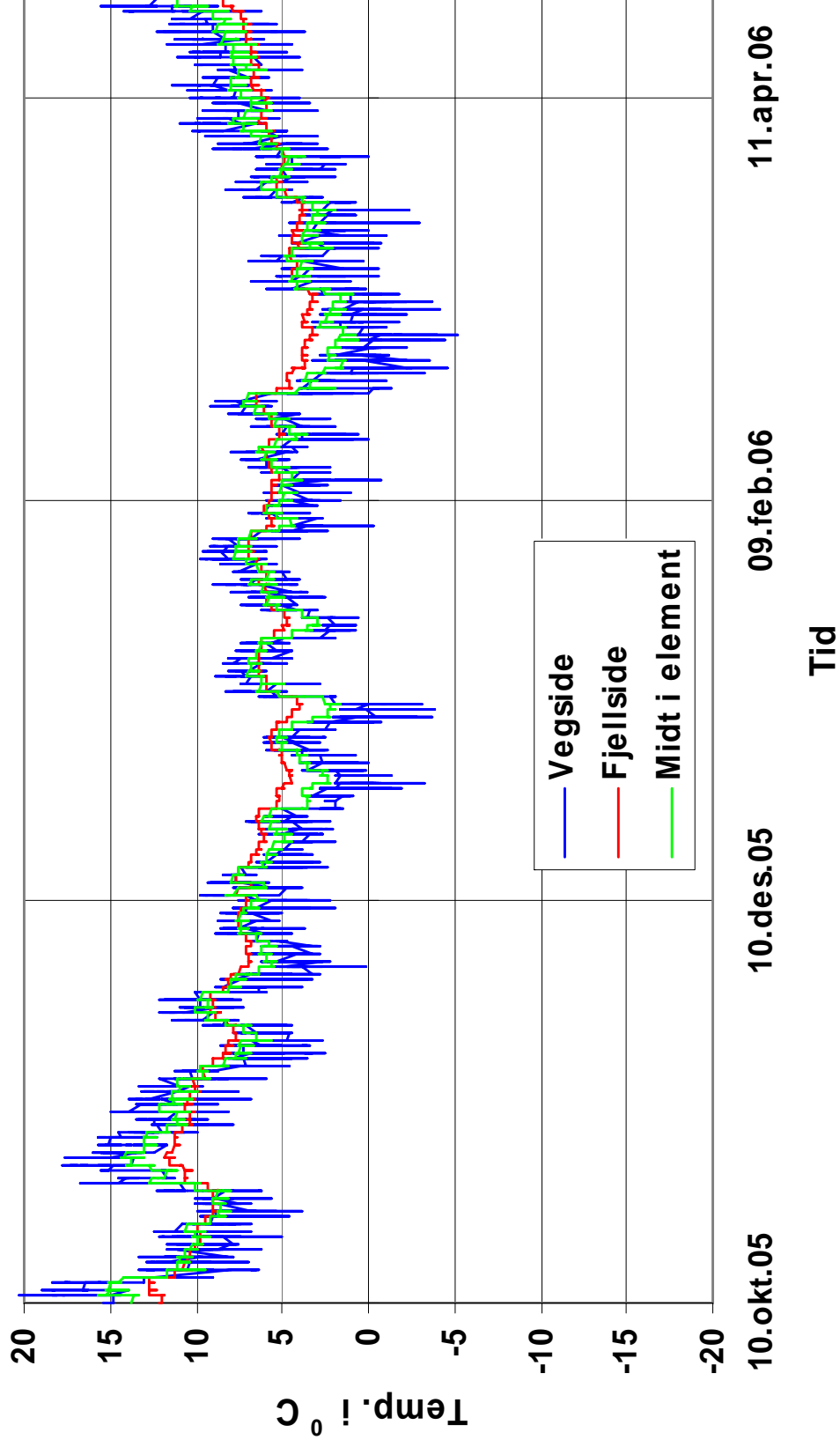
- Målingene viser store temperaturforskjeller mellom vestre tunnelåpning på Trondheimsiden og østre tunnelåpning på Malviksiden.
- Målinger utført på veg- og fjellside viser at tunnelhvelvet har effekt både gjennom å isolere og tette hulrommet bak elementene.
- Temperaturregistreringene er sammenholdt med verdier fra regelverk og offisielle temperaturnormaler, perioden 1961 – 1990.
- Målingene vil bli fulgt opp med et måleprogram som skal dekke vinteren 2006/2007.

Vedlegg

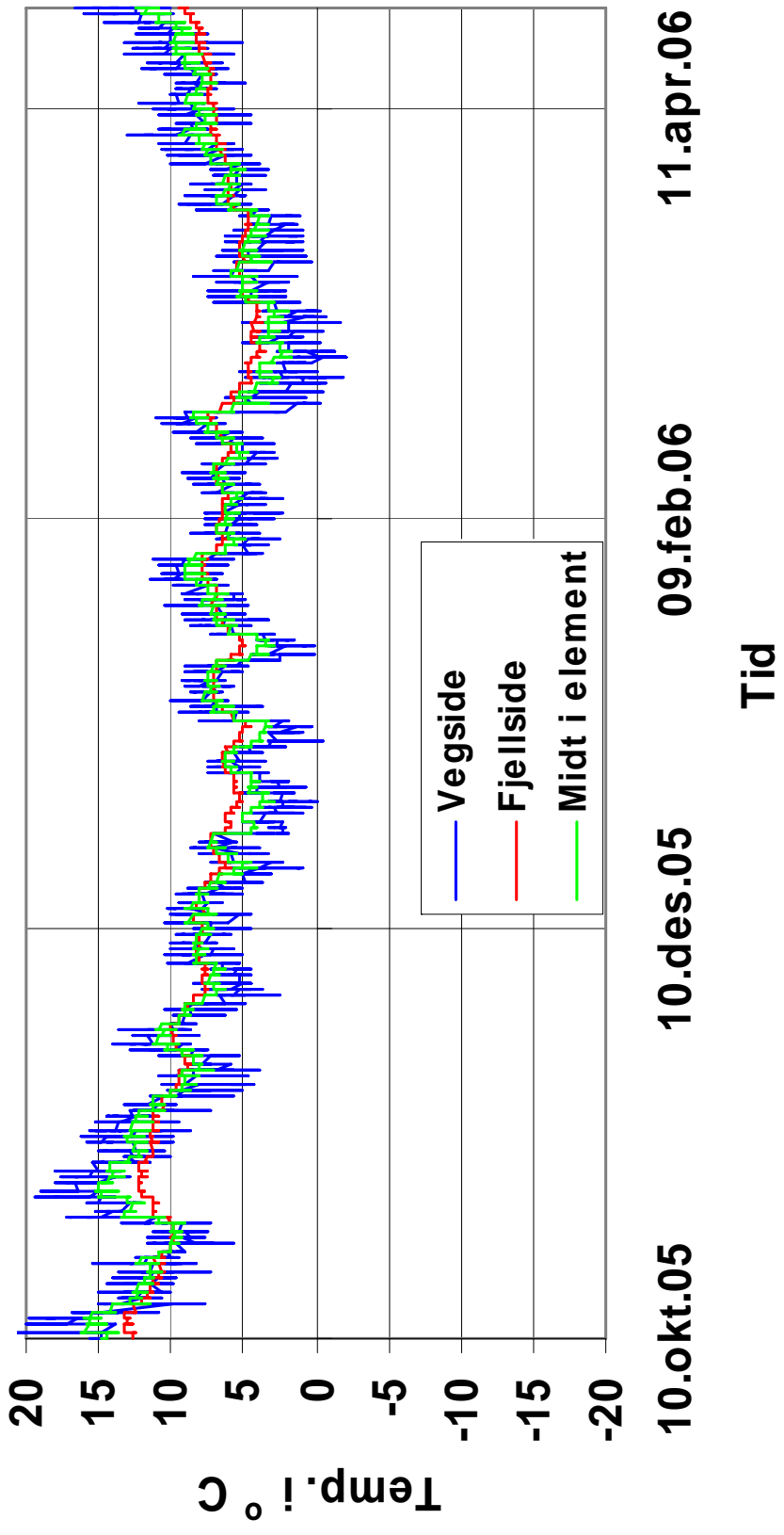
Diagram i stor målestokk

- **Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26. april 2006
Område A: 24 meter inn fra vestre tunnelåpning**
- **Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26.april 2006
Område B: 175 meter inn fra vestre tunnelåpning**
- **Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 - 26.april 2006
Område C: 190 meter inn fra østre tunnelåpning**
- **Temperaturregistreringer 10.oktober 2005 – 26.april 2006
Område D: 13 meter inn fra østre tunnelåpning**

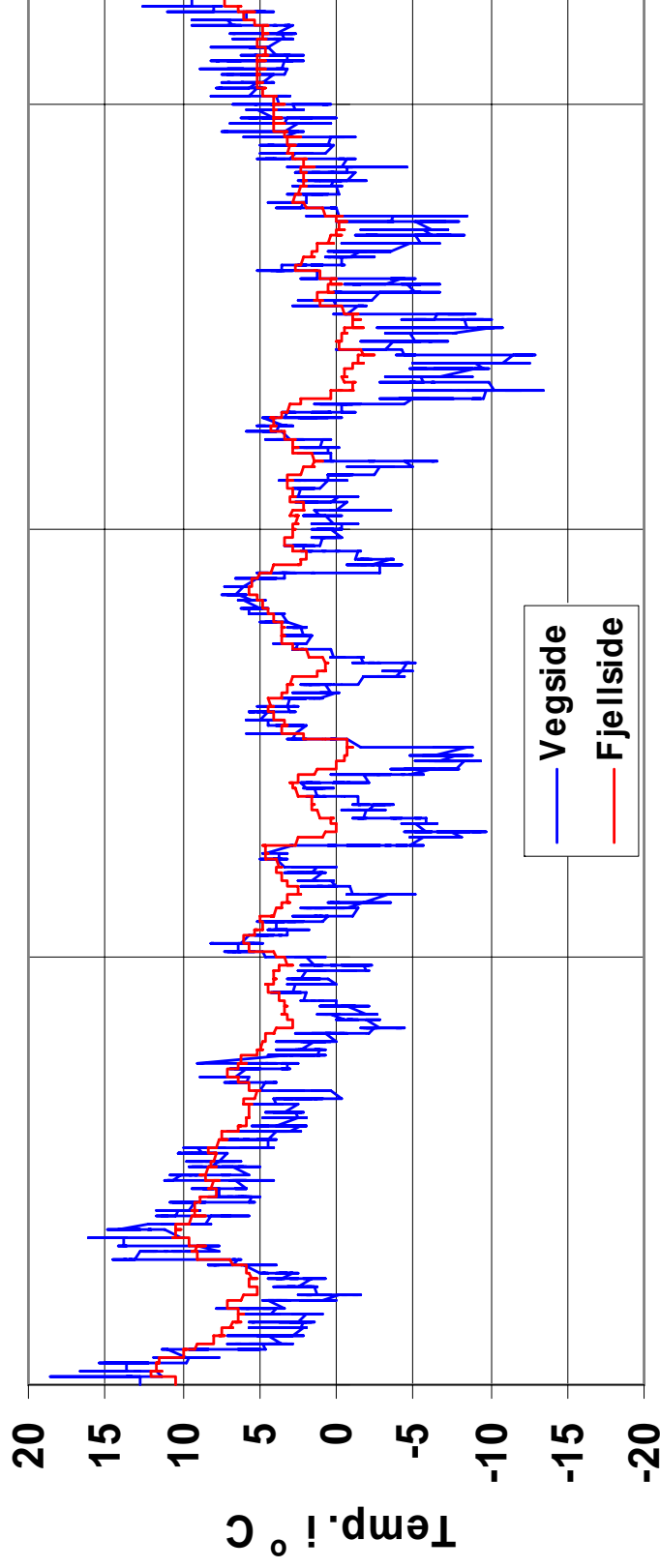
Væretunnelen , Temperaturmålinger 24 m inn fra vestre ende



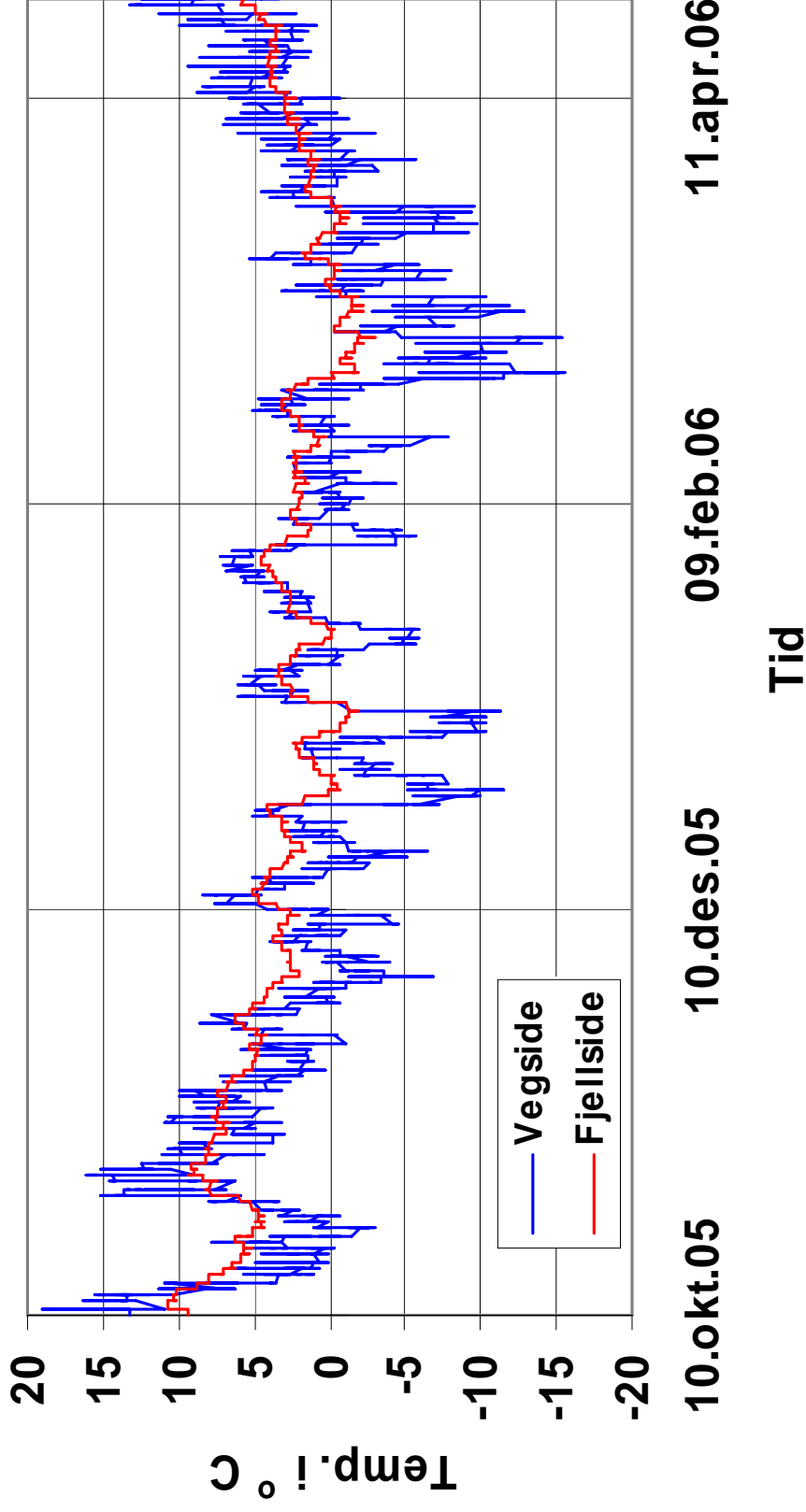
Væretunnelen , Temperaturmålinger 175 m inn fra vestre ende



Væretunnelen , Temperaturmålinger 190 m fra østre ende



Væretunnelen , temperaturmålinger 13 m inn fra østre ende





Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

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

ISSN 1504-5005