

# Intern rapport

## Intern rapport nr. 2332

Frostnedtrengning i  
tunnelsåle.  
Måleteknikk og eksempler på  
data.



**Statens vegvesen**  
Vegdirektoratet

22.09.03

Teknologiavdelingen

# Intern rapport nr. 2332

## Frostnedtrengning i tunnelsåle. Måleteknikk og eksempler på data.

### Sammendrag

Rapporten beskriver måleteknikk for registrering av frostnedtrengning i vegfundament og såle i tunneler. Frostnedtrengningen registreres ved hjelp av temperaturfølere med loggere, og dataene hentes ut periodevis og tolkes/presenteres. I tillegg til temperatur i vegfundament/tunnelsåle registreres også lufttemperaturen i tunnelen, samt lufttemperatur utenfor tunnelen.

Målinger har pågått i Stalheimstunnelen (Hordaland) i siden sommeren 2001. Resultatene så langt er vist i rapporten.

Utplassering av målere i Hagantunnelen (Akershus) er foretatt i våren 2003. Tunnelen ble åpnet for trafikk i september 2003. Rapporten beskriver måleutstyr og plassering/installasjon. Måleresultater skal følges opp i senere rapporter.

Emneord: *Tunneler, frostsikring, vegfundament, frostmålinger, temperaturmålinger*

Seksjon: *Veg- og trafikkfaglig senter*

Saksbehandler: *Adler Enoksen*

*/ adleno*

Dato: *22.09.2003*

---

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

**Teknologiavdelingen**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

# Innhold

1. Innledning .....	2
2. Vann og frost i tunnel .....	3
3. Stalheimstunnelen (Hordaland) .....	4
3.1. Innledning .....	4
3.2. Innhentede resultater – august 2001 til januar 2003 .....	5
4. Hagantunnelen (Akershus) .....	11
4.1. Innledning .....	11
4.2. Forslag til utplassering av målere .....	11
4.3. Gjennomføring .....	13
4.4. Arbeidet videre .....	14
4.4.1. Forventede resultater i Hagantunnelen .....	14
5. Oppsummering .....	15
5.1. Stalheimstunnelen .....	15
5.2. Hagantunnelen .....	15
5.3. Bruk av resultater .....	15

## 1. Innledning

I Norge har vi bygd og bygger stadig relativt mange tunneler sammenliknet med andre land. Grunnen til dette er først og fremst at vi har en topografi som skaper et stort behov for tunneler. I tillegg har vi de siste tiårene fått behov for å løse trafikale problemer i storbyene med tunneler. De norske løsningene benyttet for å bygge tunneler har internasjonalt sett vært rimelige, noe som har ført til at vi har kunnet bygge mange av dem. Tunnelene våre har gjort det mulig å forsere fjorder og fjell, gitt oss helårsveger og fjernet rasfarer.

I deler av landet vårt er klimaet slik at vi noen ganger må frostsikre vegene for å hindre fryse- og tineproblematikk. Telehiv forringer levetiden og verdien av vegene, samt skaper trafikkfarlige situasjoner.

Problemet med frost er spesielt aktuelt for tunneler, hvor det i de fleste tilfeller er et jevnt innsig av vann fra fjellet. Isolasjon og drenering er som oftest knyttet til tak og vegger, men noen ganger velger man også å frostsikre vegfundamentet. For en tunnelsåle vil det være partiene nærmest åpningen som er mest utsatt for frostpåkjenning. I tunneler av en viss lengde vil det midterste partiet som regel ha en stabil temperatur da varme fra det underliggende fjellmassivet kompenseres for varmetapet som oppstår i tunnelsålen på grunn av nedkjølt luftrom, og motsatt når luftrommet varmes om sommeren. I enkelte tunneler kan det være nødvendig å frostsikre en større lengde av tunnelen på grunn av ekstra kraftig nedkjøling av luftrom som resultat av stor bevegelse luftmassene på grunn av høy trafikk tetthet, ventilasjon og pipeeffekt.

For å redusere problemene knyttet til vann og frost i tunnelsålen har man tre muligheter:

- Fjerne vann
- Fjerne frost
- Fjerne telefarlig materiale

Tar man bort en av faktorene som skal til for å få tele vil problemet være løst. For en tunnelbygger er det knyttet ekstra kostnader ved alle disse punktene, og det er derfor interessant å finne ut hvor stor innsats som er nødvendig for å oppnå telesikker tunnelsåle.

I denne rapporten vil det bli beskrevet system for å måle temperatur i en tunnelsåle, samt presentert eksempler på data. Hittil er to tunneler, Stalheimstunnelen i Hordaland og Hagentunnelen i Akershus, utstyrt med dataloggere som registrerer temperatur på forskjellige punkter i luft og vegfundamentet. Det er nødvendig å samle inn data over tid slik at man kan skaffe seg et statistisk grunnlagsmateriale til å vurdere hvordan frost opptrer i en tunnelsåle. Datamengden er så langt for liten til at det er interessant å gjøre noen store vurderinger.

Statens vegvesen har ved Vegteknisk avdeling gjennom flere år målt temperatur og frostinntrengning i vegtunneler. Erfaringene er samlet i Intern rapport nr 1946. I tillegg finnes en rekke rapporter som samler resultatet fra hver sesong. Frostinntrengningen gjennom tunneler av forskjellig type og i forskjellig klima er relativt godt dokumentert.

## 2. Vann og frost i tunnel

En tunnel opplever et jevnt innsig av vann, hvor variasjonene stort sett er regulert av årstidene. Vannlekkasjene i en tunnel er spredt over hele tunnelens lengde, med de største mengdene rundt sprekke- og svakhetssoner. Alle lekkasjepunkt skal i prinsippet være sikret slik at vann ikke kommer ned på vegbanen.

Frostinntrengningen er også sesongbetont, men man kan i tillegg oppleve store dagsvariasjoner. Teorier for frostinntrengning i tunnel er presentert i Intern rapport 1946 og vil ikke bli gjennomgått her.

Med bakgrunn i generell varmemestrømsteori er det rimelig å anta at frostnedtrengning i vegfundamentet i en tunnel vil bli kompensert av varmemestrøm magasinert i underliggende fastfjell. Frostmengdene vil derfor avta med dybden av fundamentet. Det er også rimelig å anta at endringene blir mindre og tregere med dybden av vegfundamentet.

For å kunne sette et tall på mengden frost i løpet av en tidsperiode er det definert en verdi for tidsintegralet av negativ temperatur gjennom en vinter.

$$F = \sum \theta \cdot \Delta t$$

Frostmengde:  $\theta =$  antall grader celsius under null og  $\Delta t =$  antall timer

Den enkleste regnemåten er gjerne knyttet til summering av månedsmiddelverdier for området:

$$F = (24 \cdot 365 / 12) \cdot \sum |^{\nabla} \text{måned}| = 730 \cdot \sum |^{\nabla} \text{måned}|, \text{ h}^{\circ}\text{C}$$

$^{\nabla} \text{måned} =$  middel temp. per måned,  $^{\circ}\text{C}$

For mer detaljerte/nøyaktige målinger kan en benytte døgnmiddeltemperaturen eller målte timeverdier for beregningen.

Ved å sette sammen målinger fra flere år er det mulig å beregne sannsynligheten for at en gitt frostmengde overskrides i løpet av en vinter. I vegbygging er det vanlig å dimensjonere de frosttekniske installasjonene for en frostmengde som statistisk overskrides en gang i løpet av en 10-års periode,  $F_{10}$ .

### 3. Stalheimstunnelen (Hordaland)

#### 3.1. Innledning

Stalheimstunnelen ligger på E 16 ved Stalheim mellom Gudvangen og Voss. Alle masser som ble benyttet i vegfundamentet er tatt fra tunnelstein (bergart – anorthositt). Vegfundamentet er bygd opp på følgende måte:

Asfalt ca. 5 cm  
Penetrert pukk ca. 12 – 15 cm  
Avrettingslag ca. 10 cm  
Steinlag ca. 50 – 70 cm

Høsten 2001 utplasserte Statens vegvesen Hordaland og Vegdirektoratet temperaturmålere i Stalheimstunnelen for å studere endringer i temperatur. Totalt ble det utplassert 10 temperaturfølere som registrerte temperaturer hver tredje time:

- 2 målere i overbygning henholdsvis 1,1 og 0,8 meter under overflaten
- 2 målere i asfaltdekket
- 2 målere på tunnelvegg
- 2 målere på rekkverk utenfor tunnel
- 2 målere i grøft utenfor tunnel

Målerne inne i tunnelen valgte man å plassere omtrent 80 meter innenfor åpningen, da det ved dette stedet var en åpen grøft som forenklet arbeidet.

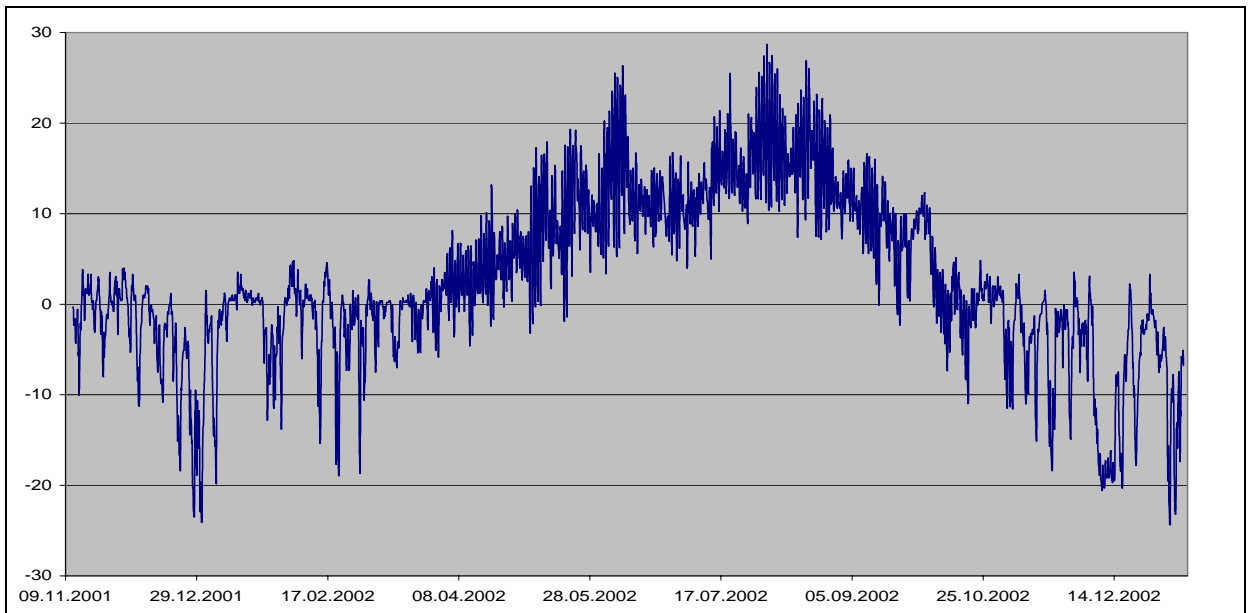
Plassering av målerne ned mot traubunn ble gjort ved hjelp av borerigg som boret et hull med ca. 10 cm i diameter. Kablene ble lagt inn en plastslange for beskyttelse, selve føleren lå utenfor slangen. Plastslangen ble deretter ført ned i hullet med en styrepinne for at ledningen skulle stå mest mulig i lodd og sentrisk i hullet. Avslutningsvis ble hullet fylt med sand og grus og forseglet med bitulastic.

Målerne i asfaltdekket ble plassert ved å kutte en slisse i dekket. Kablene ble lagt i plastslanger som igjen ble dekket av sand og grus, og til slutt ble asfaltdekket forseglet med bitulastic.

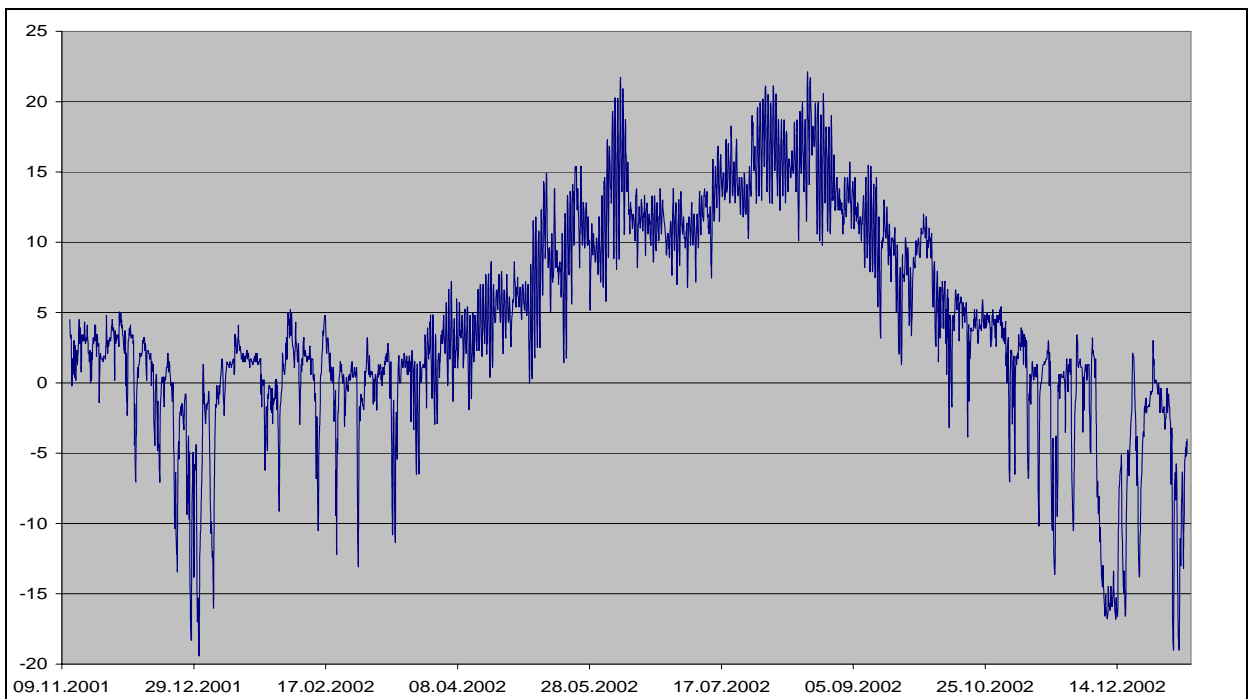
I grøftene ble målerne gravd ned og tildekket med sand og grus.

### 3.2. Innhentede resultater – august 2001 til januar 2003

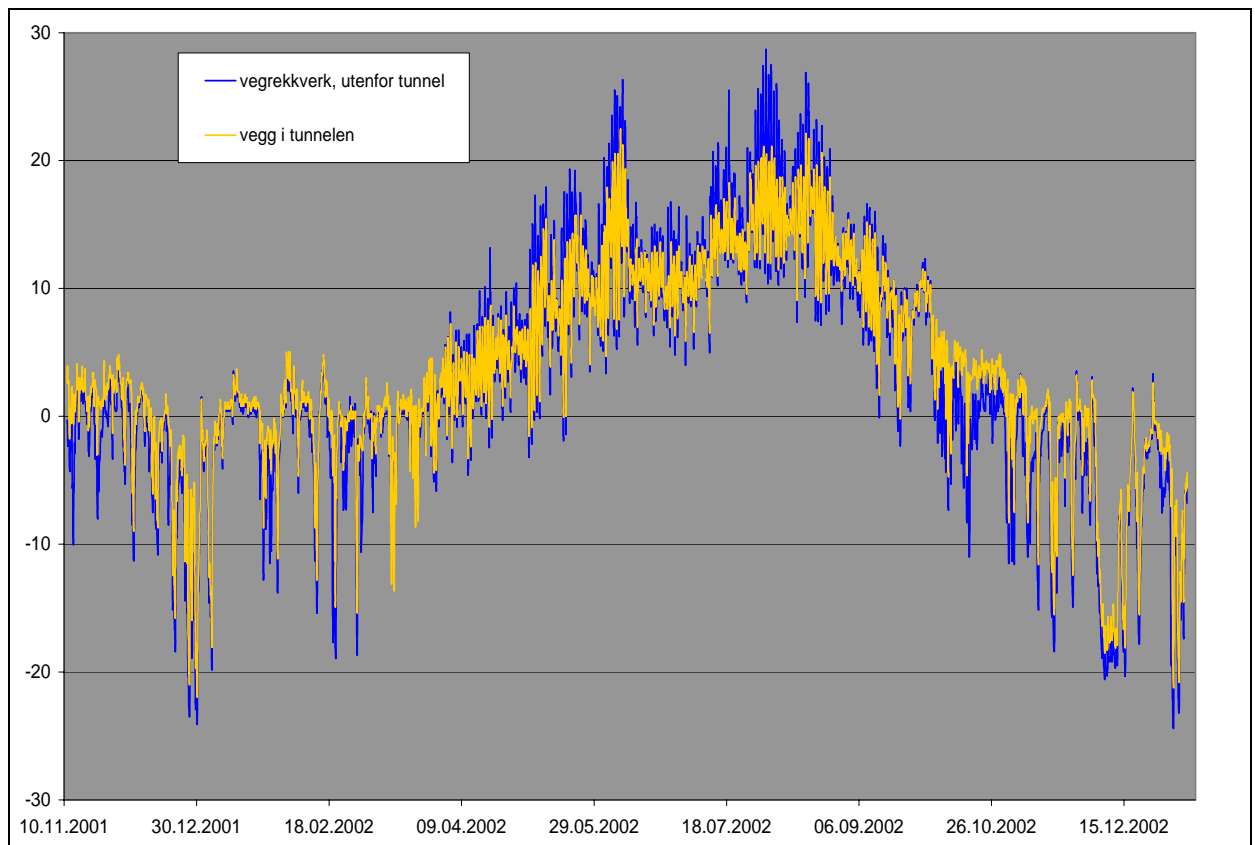
Data fra loggerne i Stalheimstunnelen ble innhentet sommeren 2002 og i januar 2003. Resultatene er presentert i figurene 1 til 9. Som man kan se varierer temperaturene, som forventet, med årstidene. En annen ting man kan observere er at kurvene blir jevnere og rundere mot dypet siden endringene ikke er like hurtige under bakken som i luft. Man kan også legge merke til at temperaturendringene bruker litt tid på å trenge nedover i bakken, som vises ved at utslagene i kurvene forskyves mot høyre med dypet.



**Figur 1: Lufttemperatur utenfor Stalheimstunnelen**



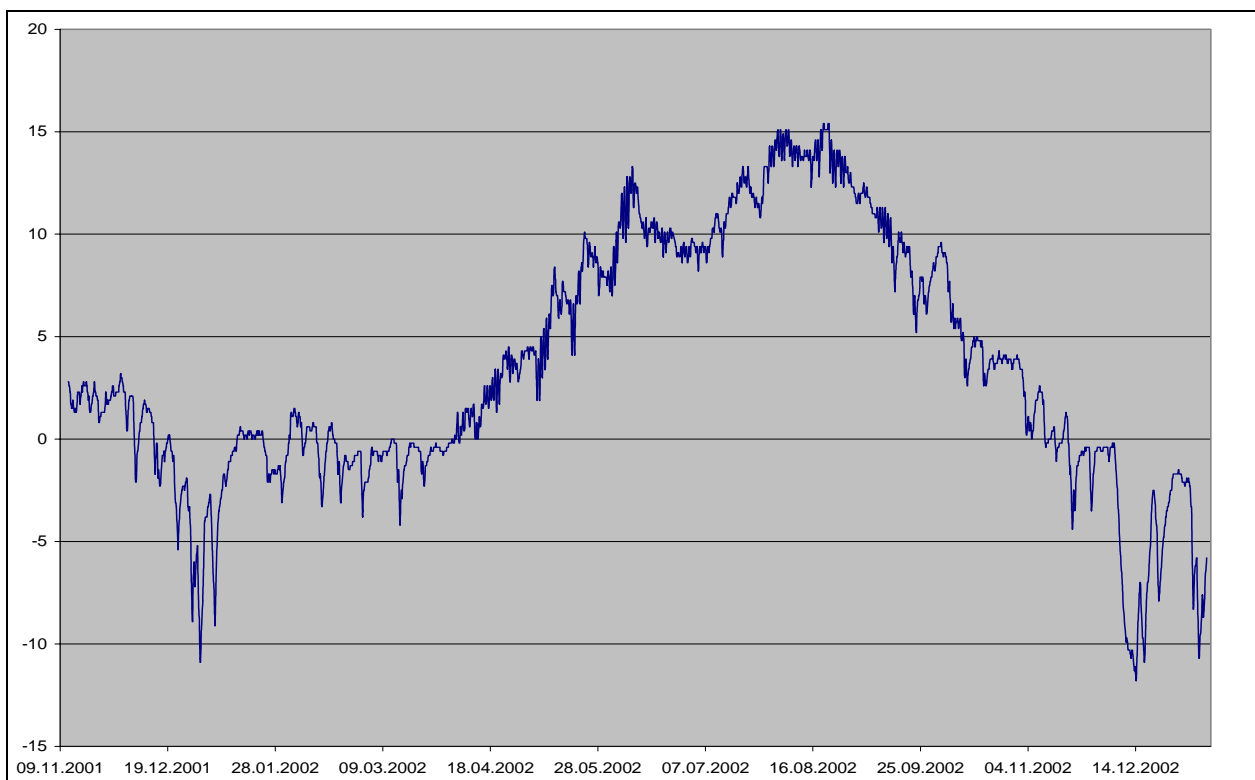
**Figur 2: Lufttemperatur inne i tunnel**



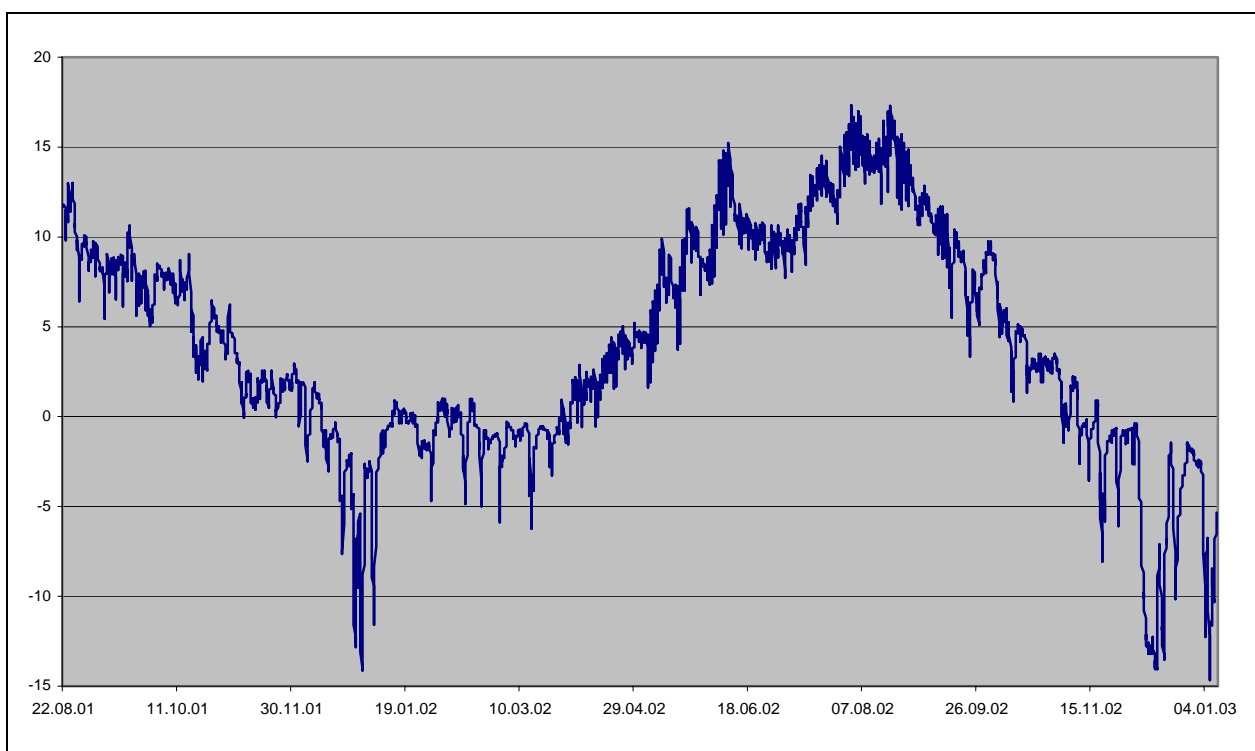
**Figur 3: Sammenstilling av lufttemperatur utenfor og inne i tunnelen**

I figur 3 er resultatene fra figurene 1, lufttemperatur, og 2, luftrom i tunnel, sammenstilt. Som man kan se følger resultatene hverandre rimelig godt. Det som er verdt å legge merke til er målingene rundt 09.03.2002 hvor temperaturen inne i tunnelen er betraktelig lavere enn temperaturen på utsiden. Dette avviket i forhold til resten av perioden skyldes mest sannsynlig at måleren på utsiden har blitt tildekt med snø under brøyting og snøfall og har dermed vist en høyere temperatur enn de faktiske forhold. For øvrig ser man at temperaturen i friluft ligger lavere om vinteren og høyere om sommeren sammenliknet med temperaturen inne i tunnelen. Dette skyldes oppvarming fra sola om dagen og stråleeffekt om kvelden utenfor tunnelen.

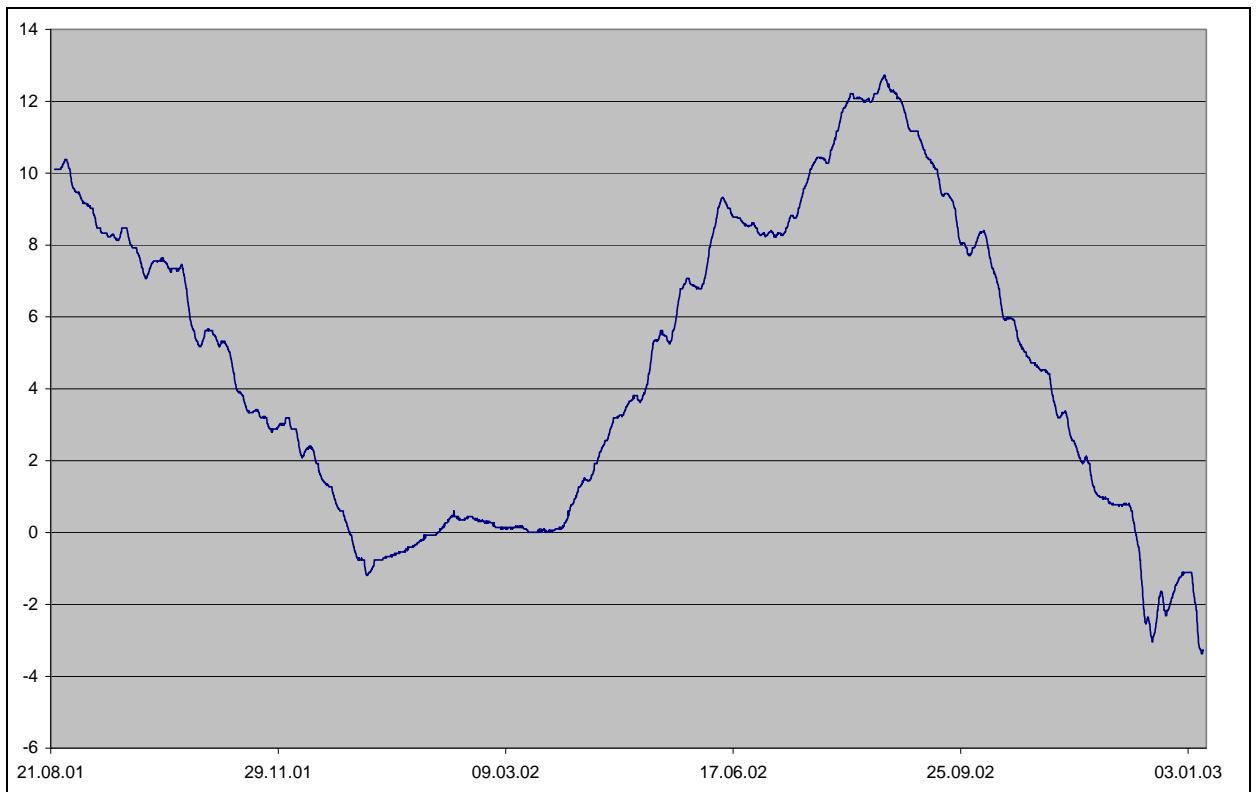




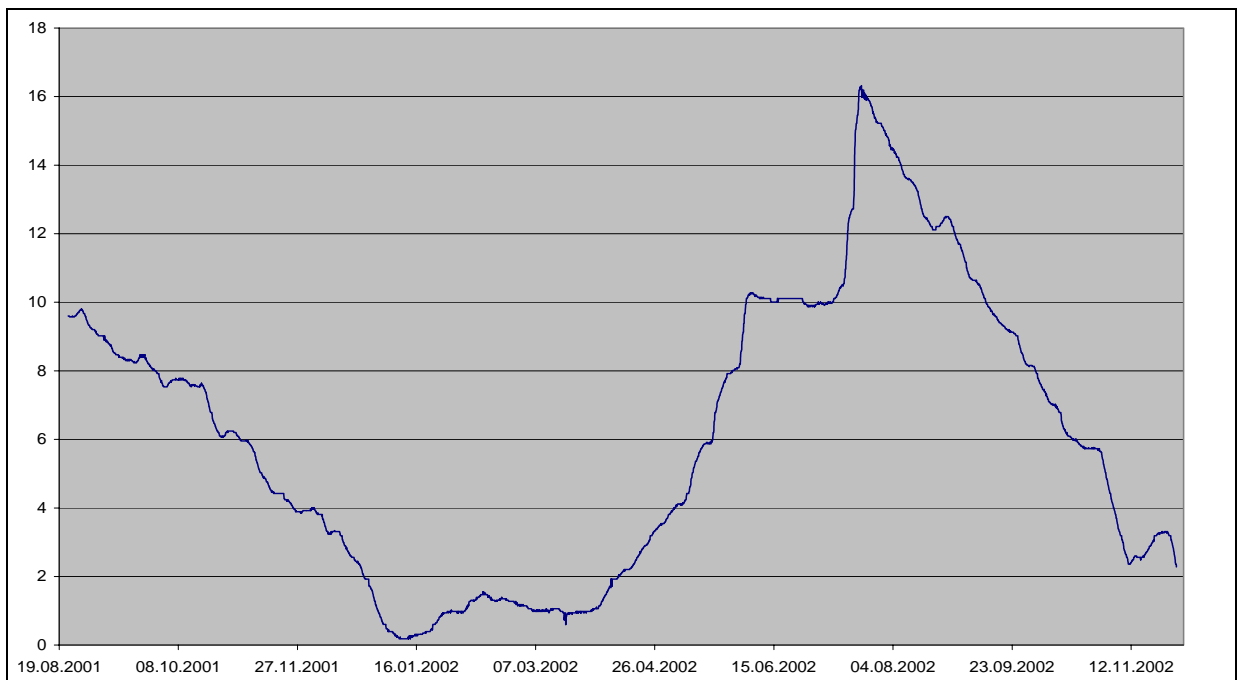
**Figur 4: Måler i grøft/vegkant**



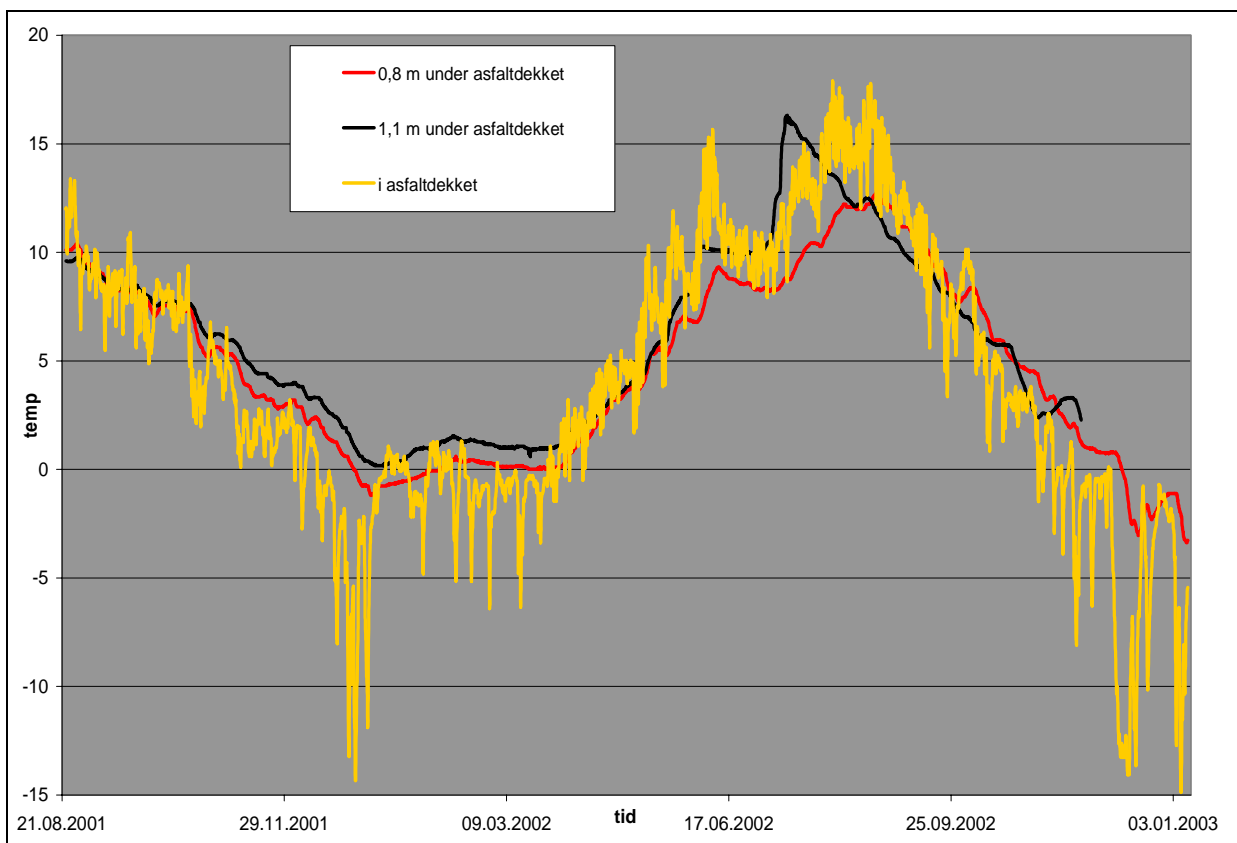
**Figur 5: Måler i asfaltdekket**



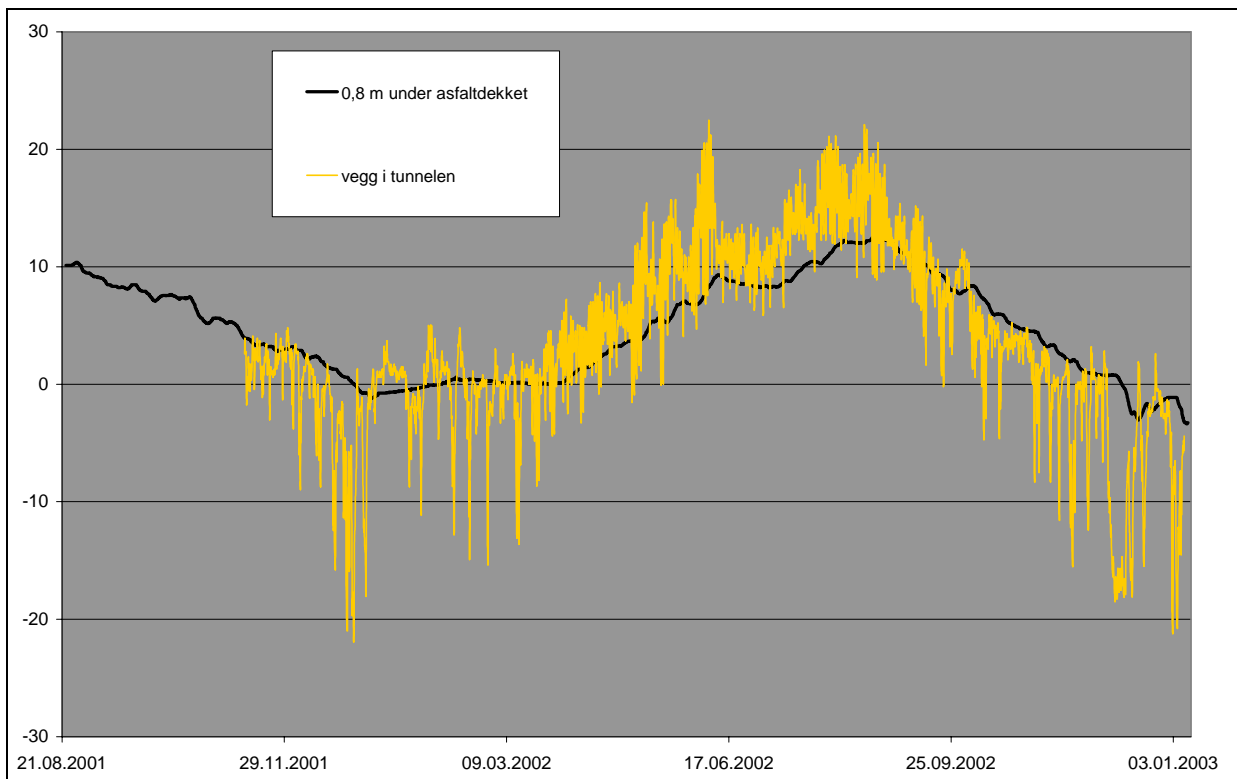
**Figur 6: Måler 0,8 m under asfalt**



**Figur 7: Måler 1,1 m under asfalt**



**Figur 8: Sammenstilling av målere under bakken**



**Figur 9: Sammenstilling av måler i luftrom i tunnel og måler 0,8 m under asfalt**

I figur 7 kan man observere en plutselig økning i temperatur fra den 17.07.02. Sammenliknet med figur 5 og 6 ser dette ut til å være et eller annet form for avvik. Siden både måleren plassert 0,8 meter under bakken og måleren 1,1 meter under bakken er lokalisert i nærheten av hverandre er det rimelig å tro at eventuelle ytre påvirkninger ville påvirket begge. I mangel av informasjon om hva som har forårsaket oppvarmingen, vil enhver forklaring bli ren spekulasjon og derfor utelatt i denne teksten.

I figur 8 er resultatene fra figurene 4 (i asfaltdekket), 5 (0,8 meter under asfaltdekket) og 6 (1,1 m under asfaltdekket) sammenstilt. Kuldeperiodene som kommer fram i figur 7 kan også observeres her. Det som er verdt å legge merke til er at kurvene for målingene gjort under bakken er flatere enn målingene gjort like under overflaten og i luft. Dette skyldes at hyppige endringer i lufttemperatur ikke gjør noen utslag på temperaturen langt nede i vegfundamentet.

Figur 9 viser en sammenstilling av måleren i luftrommet i tunnelen og måleren 0,8 meter under bakken. Det er lett å observere hvordan temperaturen under bakken følger lufttemperaturen.

Resultatene fra Stalheimstunnelen framstår som rimelige ut i fra generell varmestrømsteori. Det er foreløpig tidlig å trekke noen konklusjoner fra målingene da det ikke foreligger målinger for mer enn ett og et halvt år, men det er mulig å se noen trender i målingene så langt:

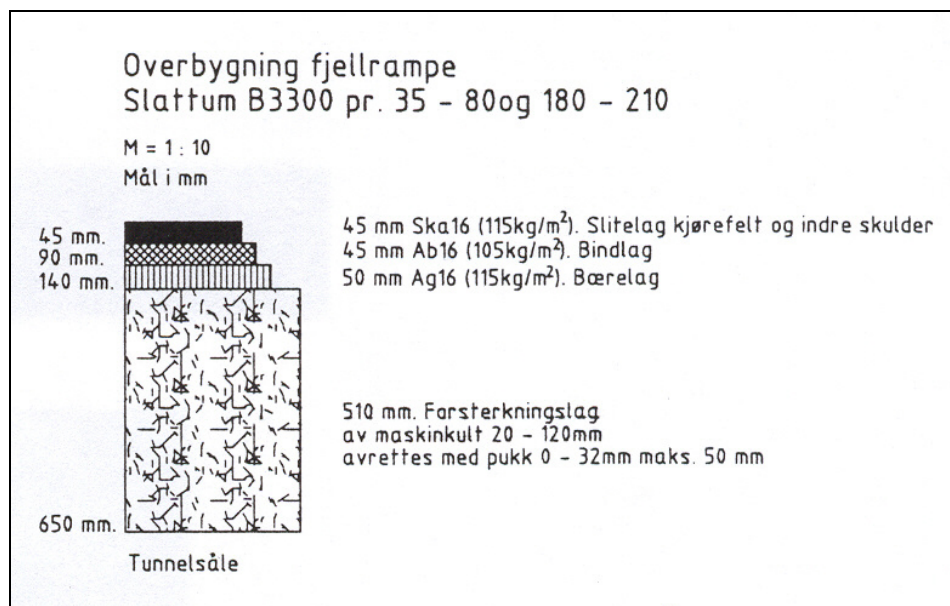
- Målingene bekrefter at kurvene blir flatere med dypet av vegkonstruksjonen.
- Det er små forskjeller mellom temperaturene i luft utenfor og inne i tunnelen.
- Temperaturen i asfaltdekket er i stor grad avhengig av temperaturen i luftrommet, dagvariasjoner forekommer.

## 4. Hagantunnelen (Akershus)

### 4.1. Innledning

Hagantunnelen er lokalisert på Gjelleråsen, nord for Oslo. Tunnelen vil bli en del av RV4 Oslo – Gjøvik. Tunnelens lengde er 2.600 meter med en forventet ÅDT på 11.000, og stiger fra nord mot sør. Det er forventet at ventilasjonen vil styres mot sør og hjelpe den naturlige trekken.

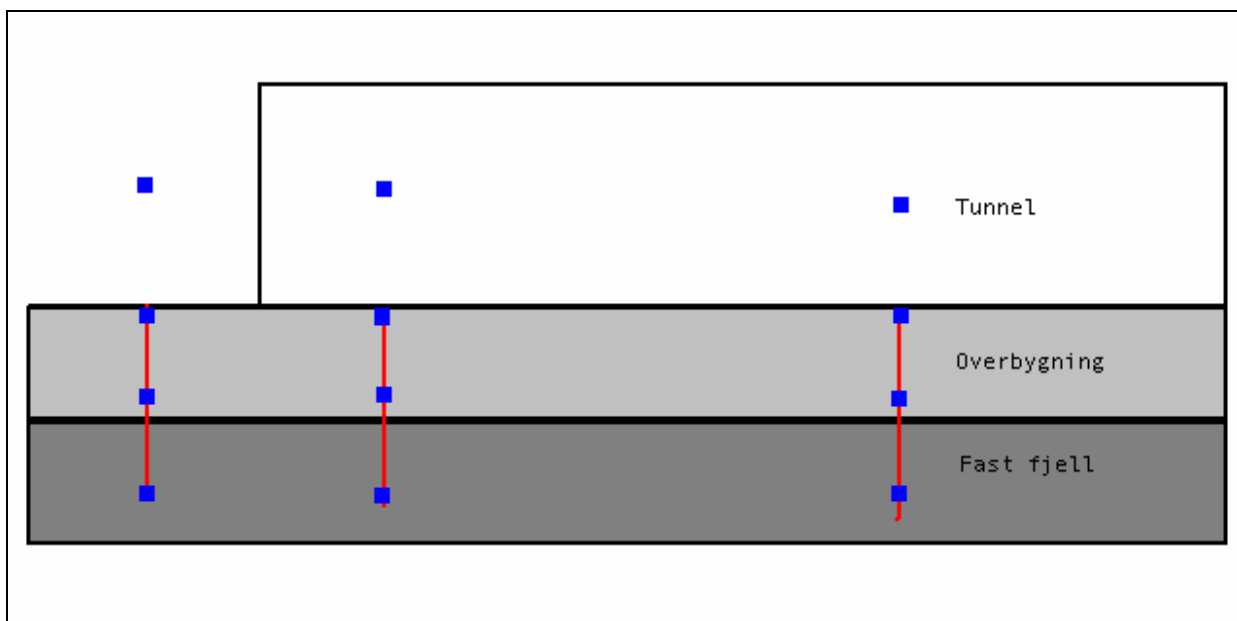
Oppbygningen av vegfundamentet er vist i figur 10.



Figur 10: Vegfundament i prøvestrekning i Hagantunnelen

### 4.2. Forslag til utplassering av målere

En intern diskusjon på Veglaboratoriet førte til et forslag på totalt 11 målere under bakken og 3-6 målere i luft. Disse skulle plasseres på 3 forskjellige punkter: et like utenfor åpningen, et like innenfor og et siste ca. 200 meter inn i tunnelen. På grunn av ventilasjonens retning valgte man å plassere målerne i påkjøringsrampen på den nordlige enden av tunnelen.



**Figur 11: Skisse for utplassering av følere. Følere er markert i blått.**

På de tre forskjellige punktene var det meningen å plassere ut:

- En måler i luft og en måler i trekkekum
- En måler like under overflaten, i bindelag eller bærelag
- En måler nederst i overbygningen mot fast fjell
- En måler 1 meter ned i fast fjell

I tillegg skulle det plasseres ut målere i drengrøft under isolerende Leca for de to punktene inne i tunnelen.

Totalt 17 målere, 6 i luft og 11 under bakken. For målingene under bakken ble det valgt målere av merket TinyTag. Dette er en enkanalsdatalogger, det vil si det utplasseres en logger for hver måler. Lufttemperaturene registreres ved hjelp av målere av typen TinyTag Plus High Resolution, såkalte "filmbokser", som ble anskaffet av Kontor for geologi og tunnel. I løpet av høsten 2002 ble det gjennomført flere befaringer på Hagan for å lokalisere de mest aktuelle punktene for utplassering av temperaturmålere. Det ble bestemt å etablere punktene på pelnummer 66 og 191 inne i tunnelen og ett like utenfor åpningen. Ved begge pelnummerene var trekkekummene på høyre side. Drengrøfta var på pel 66 på venstre side og ved pel 191 på høyre side, nummerering fra nord mot sør.

Valg av pelnummer ble gjort med tanke på dataloggerne. Ved å plassere disse i trekkekummer ville de være lett tilgjengelige samtidig som de ville være beskyttet fra trafikk og hærverk. Det ble derfor nødvendig å finne de aktuelle trekkekummene i forhold til avstanden fra tunnelåpningen.

Målerne i luft ble plassert ut i luftrommet på samme sted som punktene under bakken ble etablert. Det ble i tillegg utplassert målere i kummene på pel 66 og 191, samt en måler like utenfor tunnelåpningen og en på byggherrekontoret på Hagan.

### 4.3. Gjennomføring

28. november 2002 ble de første målerne installert på punktene inne i tunnelen. Ved hjelp av gravemaskin ble overbygningen gravd opp til fast fjell. Deretter boret man ett hull med 45 mm diameter 1 meter ned i fjell ved hjelp av en håndholdt boremaskin, se figur 7.



**Figur 12: Boring i fast fjell med håndholdt bormaskin.**

En føler ble lagt i et 20 mm trekkerør og ført ned i hullet. Hullet ble så fylt med masser fra boringen. Trekkerøret ble ført fra åpningen gjennom en grøft og ut til kanten av overbygningen og bort til en trekkekum. Den andre føleren ble lagt i et annet trekkerør og plassert i overgangen mellom fast fjell og overbygning. Siden trekkekummene på dette tidspunktet ikke var på plass ble trekkerørene lagt i en renne ut til siden hvor kummen senere skulle plasseres. Avstanden til fjell ble målt til ca. 90 cm fra overflaten. De gjenstående installasjonene vil utgjøre omtrent avstanden fra de monterte betongelementene til gruslaget, 25 cm, som gir en dybde til fjell på ca. 115 cm fra asfaltdekket.

For å få en føler ned gjennom Leca-laget, ble det presset ned et stivt rør med en diameter på 45 mm. Gjennom dette røret førte man et trekkerør med en temperaturføler. Røret ble deretter lagt til samme plass som rørene med målerne nede i overbygningen. Avstanden fra gruslaget ned til måleren ble beregnet til ca. 40 cm, som tilsvarer ca. 65 cm fra asfaltdekket.

Trekkerørene ble tildekt med singel før åpningen i overbygningen ble fylt igjen.

I løpet av mars og mai 2003 ble de gjenværende følerne utplassert slik at systemet i bakken var klart til logging. Samtidig utplasserte man også dataloggerne slik at systemet var operativt fra og med den 9. mai.

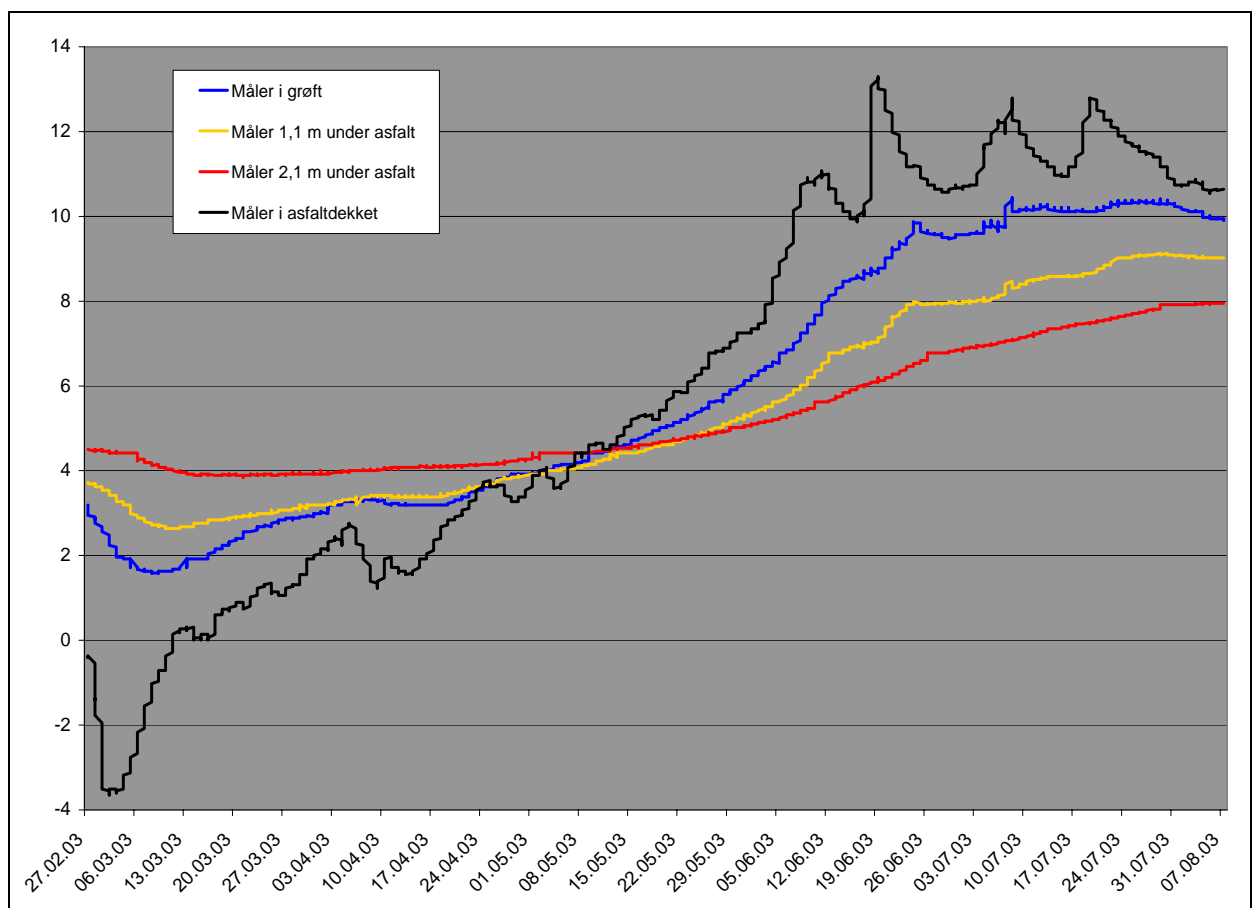
## 4.4. Arbeidet videre

### 4.4.1. Forventede resultater i Hagantunnelen

I forhold til generell varmestrømsteori er det rimelig å forvente at resultatene i Hagantunnelen vil være prinsipielt likt resultatene fra Stalheimstunnelen, forskjeller vil være knyttet til lokale forhold. Kurvene fra lufttemperaturene forventes å variere betraktelig mer enn målingene gjort i fast fjell. For punktene imellom vil kurvene fremstå som mellomting av ytterpunktene.

Figur 13 viser målinger i perioden 27. februar 2003 til 7. august 2003 fra punktet ved pel 191 på Hagantunnelen. Som man kan se er resultatene prinsipielt ganske like de fra Stalheimstunnelen. Også her ser man at temperaturen er mest stabil 2,10 meter under bakken og varierer mest i måleren som ligger i asfaltdekket, mens målerne imellom fremstår som mellomting.

Tilsvarende målinger som i figur 13 finnes også for de andre punktene på Hagantunnelen. Disse målingene er riktignok bare for tidsrommet mai – august og er derfor lite interessante å vise fram. Trenden er den samme som for målerne ved pel 191.



Figur 13: Målinger fra punkt ved pel 191 i Hagantunnelen



## **5. Oppsummering**

### **5.1. Stalheimstunnelen**

Stalheimstunnelen ble utstyrt med temperaturmålere i løpet av høsten 2001. Det er nå (høsten 2003) tilgjengelig data fra ett og et halvt år med målinger. Etter hvert som det blir logget mer data vil det være mulig å lage en statistisk oversikt over forventede temperaturendringer. Hittil har målingene fra Stalheimstunnelen vært som man kunne forvente ut fra generell varmestrømsteori.

### **5.2. Hagantunnelen**

Utplasseringen av målerne i Hagantunnelen har blitt gjennomført i henhold til hva som var planlagt. Kontroll av systemet ble gjennomført den 7. august 2003, og alle målerne fungerte da som forventet. Systemet vil bli fulgt opp i framtiden og de loggete data vil bli bearbeidet og presentert på hensiktsmessig vis. Neste kontroll av systemet vil bli i løpet av vinteren 2003 – 04.

### **5.3. Bruk av resultater**

Ved hjelp av resultatene fra Hagantunnelen og Stalheimstunnelen blir det forhåpentligvis mulig å tegne et bilde over hvordan frost trenger ned i vegfundamentet i en tunnel. Sammen med erfaringer fra bruk av forskjellige masser i tunnelsåler er det ønskelig på sikt å kunne lage en veiledning eller håndbok for hvordan såleisolasjon i tunnel bør gjennomføres.