

Frostforsøk - Leirsund

Fryseforsøk for jernbanefylling Tolkning og konklusjoner

980011-2

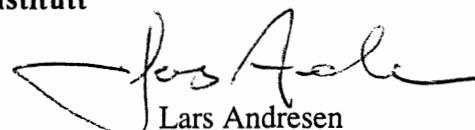
18 desember 1998

Oppdragsgiver: NSB Gardermobanen A/S

Kontaktperson: Øyvind Larsen

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder:



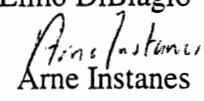
Lars Andresen

Rapport utarbeidet av:

Lars Andresen

Elmo DiBiagio

Kontrollert av:



Arne Instanes

Sammendrag

På oppdrag fra NSB Gardermobanen AS har Norges Geotekniske Institutt (NGI) i perioden februar - mai 1998 utført et fryseforsøk ved frostforsøksfeltet på Leirsund.

Hovedformålet med fryseforsøket har vært å undersøke om Gardermobanen har tilstrekkelig frostmotstand til å tåle den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved 100 års vinteren.

Prøvefyllingens ene halvdel er bygget opp tilsvarende som Gardermobanens normalprofil på stedet, mens den andre delen er bygget opp med en kombinasjon av Leca lettaklinter og sprengstein. Prøvefyllingen ble overbygd med et isolert forsøkshus hvor temperaturen ble senket ved hjelp av varmevekslere og kjøleaggregat.

Temperaturen i og under fyllingen ble under forsøket overvåket og logget i 10 målestrenger med til sammen 88 temperaturmålere.

SINTEF Bygg og miljøteknikk har utført en etterregning av fryseforsøket for å bestemme insitu termiske parametre og for å sammenlikne numeriske simuleringer med måleresultatene.

Dette er en sluttrapport. Den inneholder tolkninger av forsøksresultatene og konklusjoner.

En samlet vurdering av resultatene viser at sprengsteinsfyllingen i forsøksfeltet ikke tåler den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved en frostmengde $F_{100} = 30\,000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{timer}$ basert på lufttemperatur i kombinasjon med snøfrie forhold. Fyllingen som er bygget opp med bruk av sprengstein i kombinasjon med løs Leca lettaklinter tåler dimensjonerende frostbelastning uten at fyllingen gjennomfrys.

Innhold

1	INNLEDNING	4
2	DIMENSJONERENDE FROSTBELASTNING	4
3	TOLKNING AV RESULTATER	5
3.1	Gjennomfrysning	6
3.2	Kjøleviftenes innvirkning	8
3.3	Telehiv	9
4	ETTERREGNING AV FRYSEFORSØK	9
5	VANNINNHOLD I FELT	10
6	KONKLUSJONER	10
7	REFERANSER	12

Kontroll- og referanseside

Vedlegg A Etterregning av frostforsøk på Leirsund

1 INNLEDNING

På oppdrag fra NSB Gardermobanen AS har Norges Geotekniske Institutt (NGI) i perioden februar - mai 1998, utført et fryseforsøk ved frostforsøksfeltet på Leirsund. Forsøksfeltet ble bygget i tilknytning til Gardermobanen på meget telefarlig grunn og ferdigstilt våren 1997. En egen installasjonsrapport som beskriver forsøksfeltet er utarbeidet (NGI, 20.03, 1998). Grunnforholdene ved forsøksfeltet er også beskrevet i en egen rapport (NGI, 05.03, 1998).

Feltet besto av målere for temperaturer i grunnen installert i en egen prøvejernbanefylling. Prøvejernbanefyllingen ble overbygd med et isolert forsøkshus hvor temperaturen kunne senkes ved hjelp av varmevekslere. Prøvefyllingens ene halvdel var bygget opp tilsvarende som Gardermobanens normalprofil på stedet, mens den andre delen ble bygget opp med en kombinasjon av Leca lettlinker og sprengstein.

Formålet med fryseforsøket har vært å undersøke om Gardermobanen har tilstrekkelig frostmotstand til å tåle en frostbelastning gitt ved den dimensjonerende 100 års vinteren. Selve forsøksresultatene er gitt i en egen rapport (NGI, 15.06 1998).

SINTEF Bygg og miljøteknikk har utført en etterregning av fryseforsøket for å bestemme insitu termiske parametre for sprengstein og løs Leca lettlinker. Resultatene fra disse etterregningene er gitt som et eget vedlegg i denne rapporten.

Dette er en sluttrapport. Den inneholder tolkninger av forsøksresultatene og konklusjoner.

2 DIMENSJONERENDE FROSTBELASTNING

Ved termisk dimensjonering av Gardermobanen ble NSBs daværende gjeldene regelverk "Underbygning – regler for nye baner" lagt til grunn.

Termisk dimensjonering ble utført for en frostbelastning gitt ved 100 års frostmengde i luft, F_{100} . Statistisk er det 1 % sannsynlighet for at man får en frostmengde lik F_{100} i et gitt (hvert) år.

For området nord for Oslo er F_{100} ca. lik 30 000 °C*timer. Klimadata for landets kommuner er gitt i Byggforskserien (1995):

Tabell 1 100 års frostmengde

Kommuner som GMB passerer	F ₁₀₀
Skedsmo	29 000
Sørum	29 000
Ullensaker	32 000

Det er kjent at frostmengdebelastningen i en gitt vinter vanligvis er større på terrenngoverflaten enn i luften over terrenget. Denne, ofte betydelige, forskjellen skyldes utstråling av varmeenergi fra overflaten til atmosfæren. I NSBs "Underbygning-regler for nye baner", som var gjeldende ved termisk dimensjonering av Gardermobanen, er denne forskjellen ikke inkludert i dimensjoningsdiagrammene. Effekten av temperaturforskjellen mellom luft og overflate er inkludert i Jernbaneverkets nye regelverk (1998).

Et snødekket på fyllingsoverflaten vil redusere frostnedtrengningen sammenliknet med barfrostforhold. Gjentagelsesperioden for kombinasjonen av de to hendelsene, 100 års frostmengde og fullstendig snøfri fyllingsoverflate, er høyere enn 100 år. Eller sagt på en annen måte, det er mindre enn 1 % sannsynlighet for at disse to hendelsene skal opptre i kombinasjon i et gitt år. Vanligvis er det mindre snødekket på overflaten av jernbanefyllinger sammenliknet med frimark. Snøen på jernbanefyllinger brøyttes ofte bort eller blåser bort ved togpasseringer. Det har derfor vært vanlig dimensjoningspraksis å ikke inkludere den mulige positive effekten av et snødekket. I Jernbaneverkets regelverk for prosjektering og bygging (1998) heter det, "Isolerende effekt av snølag medregnes ikke ved frostdimensjonering".

Oppsummert kan vi si at frostbelastningen som er lagt til grunn ved termisk dimensjonering av Gardermobanen er gitt ved:

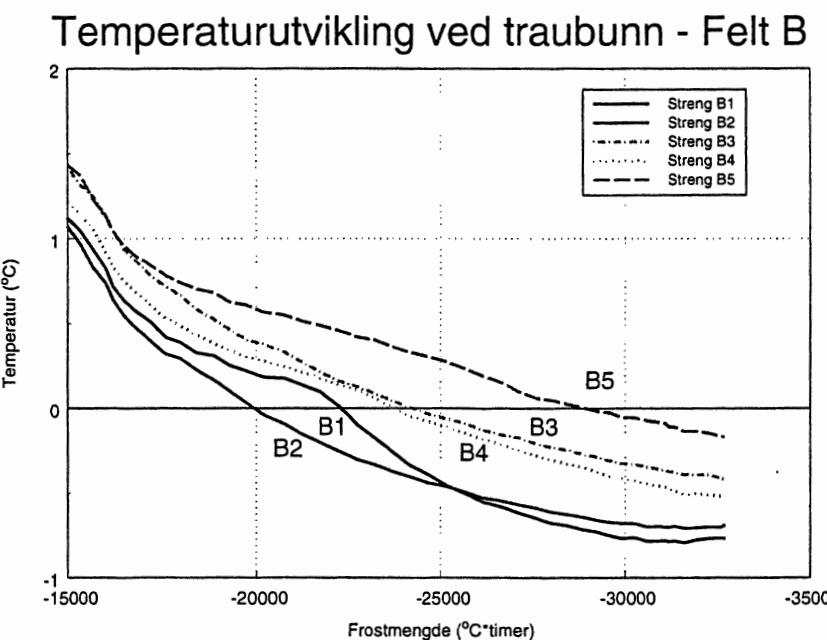
- 100 års frostmengde for luft, F₁₀₀ = 30 000 °C*timer.
- Ikke påslag for kaldere temperaturer ved terrenngoverflate
- Isolerende effekt fra et eventuelt snødekket er ikke medregnet

3 TOLKNING AV RESULTATER

Forsøket startet 3 februar i år (dagnr. 34) og ble avsluttet 10 mai (dagnr. 130). Kjøleaggregatet ble satt i drift 9 februar (dagnr. 40) og den dimensjonerende frostmengden tilsvarende 100 års vinteren F₁₀₀ = 30 000 °C*timer ble oppnådd 26 april (dagnr. 116).

3.1 Gjennomfrysning

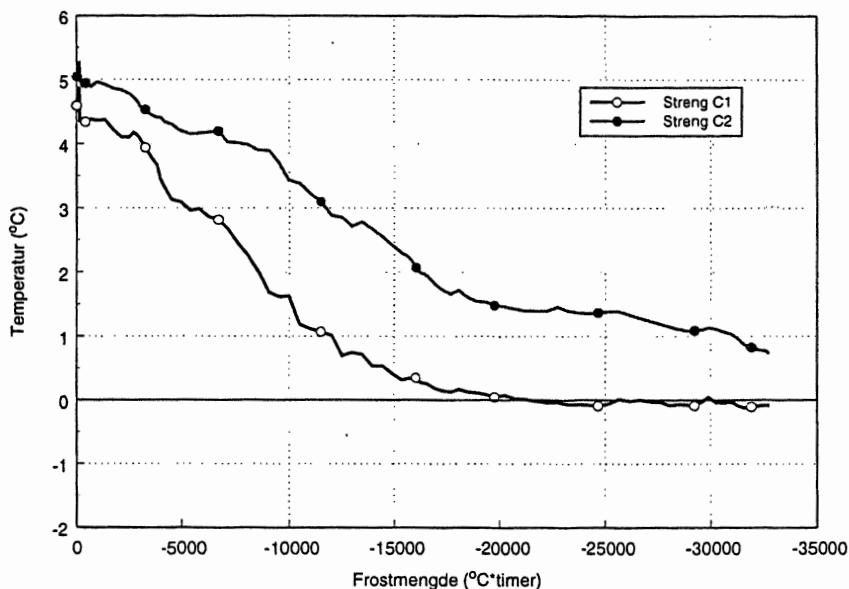
Gjennomfrysning av fyllingen finner sted når temperaturen ved traubunn passerer 0 °C og blir negativ. Frosten trenger da ned i insitu telefarlig materiale. Islinsedannelse og telehiv må forventes ved videre akkumulering av frostmengde. For fyllingen bestående av kun sprengstein - Felt B viser figur 1 at gjennomfrysning av fyllingen finner sted for en frostmengde mellom 20 000 og 30 000 °C*timer.



Figur 1 Temperaturutviklingen ved traubunn for målere i felt B

For fyllingen bestående av Leca lettlinker i kombinasjon med sprengstein, felt C, er det kun målestreng C1 og C2 som egner seg for å bestemme temperaturen på traubunn.

Temperaturutvikling ved traubunn



Figur 2 Temperaturutviklingen ved traubunn for to målere i felt C

Resultatene vist i figur 2 viser at fyllingen ved målestreng C1 fryser gjennom for en frostmengde i overkant av 20 000 °C*timer, mens temperaturen ved traubunn for målestreng C2 er ca. +1 °C ved dimensjonerende frostmengde lik 30 000 °C*timer.

Ingen av temperaturmålerne er plassert nøyaktig i nivå med traubunn. Temperaturen på traubunn som vist i figur 1 er bestemt ved en lineærinterpolasjon mellom de to nærmeste målepunktene over og under traubunn, mens det for figur 2 er benyttet en lineær ekstrapolasjon fra to målepunkter i Leca lettaklinker laget.

Frostforsøk - Leirsund

Fryseforsøk for jernbanefylling Tolkning og konklusjoner

980011-2

18 desember 1998

Oppdragsgiver:

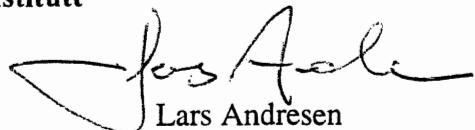
NSB Gardermobanen A/S

Kontaktperson:

Øyvind Larsen

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder:



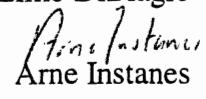
Lars Andresen

Rapport utarbeidet av:

Lars Andresen

Elmo DiBiagio

Kontrollert av:



Arne Instanes

Sammendrag

På oppdrag fra NSB Gardermobanen AS har Norges Geotekniske Institutt (NGI) i perioden februar - mai 1998 utført et fryseforsøk ved frostforsøksfeltet på Leirsund.

Hovedformålet med fryseforsøket har vært å undersøke om Gardermobanen har tilstrekkelig frostmotstand til å tåle den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved 100 års vinteren.

Prøvefyllingens ene halvdel er bygget opp tilsvarende som Gardermobanens normalprofil på stedet, mens den andre delen er bygget opp med en kombinasjon av Leca lettklinker og spregstein. Prøvefyllingen ble overbygd med et isolert forsøkshus hvor temperaturen ble senket ved hjelp av varmevekslere og kjøleaggregat.

Temperaturen i og under fyllingen ble under forsøket overvåket og logget i 10 målestrenger med til sammen 88 temperaturmåtere.

SINTEF Bygg og miljøteknikk har utført en etterregning av fryseforsøket for å bestemme insitu termiske parametre og for å sammenlikne numeriske simuleringer med måleresultatene.

Dette er en sluttrapport. Den inneholder tolkninger av forsøksresultatene og konklusjoner.

En samlet vurdering av resultatene viser at spregsteinsfyllingen i forsøksfeltet ikke tåler den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved en frostmengde $F_{100} = 30\,000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{timer}$ basert på lufttemperatur i kombinasjon med snøfrie forhold. Fyllingen som er bygget opp med bruk av spregstein i kombinasjon med løs Leca lettklinker tåler dimensjonerende frostbelastning uten at fyllingen gjennomfrysese.

Innhold

1	INNLEDNING	4
2	DIMENSJONERENDE FROSTBELASTNING	4
3	TOLKNING AV RESULTATER	5
3.1	Gjennomfrysning	6
3.2	Kjøleviftenes innvirkning	8
3.3	Telehiv	9
4	ETTERREGNING AV FRYSEFORSØK	9
5	VANNINNHOLD I FELT	10
6	KONKLUSJONER	10
7	REFERANSER	12

Kontroll- og referanseside

Vedlegg A Etterregning av frostforsøk på Leirsund

1 INNLEDNING

På oppdrag fra NSB Gardermobanen AS har Norges Geotekniske Institutt (NGI) i perioden februar - mai 1998, utført et fryseforsøk ved frostforsøksfeltet på Leirsund. Forsøksfeltet ble bygget i tilknytning til Gardermobanen på meget telefarlig grunn og ferdigstilt våren 1997. En egen installasjonsrapport som beskriver forsøksfeltet er utarbeidet (NGI, 20.03, 1998). Grunnforholdene ved forsøksfeltet er også beskrevet i en egen rapport (NGI, 05.03, 1998).

Feltet besto av målere for temperaturer i grunnen installert i en egen prøvejernbanefylling. Prøvejernbanefyllingen ble overbygd med et isolert forsøkshus hvor temperaturen kunne senkes ved hjelp av varmevekslere. Prøvefyllingens ene halvdel var bygget opp tilsvarende som Gardermobanens normalprofil på stedet, mens den andre delen ble bygget opp med en kombinasjon av Leca lettklinker og sprengstein.

Formålet med fryseforsøket har vært å undersøke om Gardermobanen har tilstrekkelig frostmotstand til å tåle en frostbelastning gitt ved den dimensjonerende 100 års vinteren. Selve forsøksresultatene er gitt i en egen rapport (NGI, 15.06 1998).

SINTEF Bygg og miljøteknikk har utført en etterregning av fryseforsøket for å bestemme insitu termiske parametre for sprengstein og løs Leca lettklinker. Resultatene fra disse etterregningene er gitt som et eget vedlegg i denne rapporten.

Dette er en sluttrapport. Den inneholder tolkninger av forsøksresultatene og konklusjoner.

2 DIMENSJONERENDE FROSTBELASTNING

Ved termisk dimensjonering av Gardermobanen ble NSBs daværende gjeldene regelverk "Underbygning – regler for nye baner" lagt til grunn.

Termisk dimensjonering ble utført for en frostbelastning gitt ved 100 års frostmengde i luft, F_{100} . Statistisk er det 1 % sannsynlighet for at man får en frostmengde lik F_{100} i et gitt (hvert) år.

For området nord for Oslo er F_{100} ca. lik 30 000 °C*timer. Klimadata for landets kommuner er gitt i Byggforskserien (1995):

Tabell 1 100 års frostmengde

Kommuner som GMB passerer	F_{100}
Skedsmo	29 000
Sørum	29 000
Ullensaker	32 000

Det er kjent at frostmengdebelastningen i en gitt vinter vanligvis er større på terrengoverflaten enn i luften over terrenget. Denne, ofte betydelige, forskjellen skyldes utstråling av varmeenergi fra overflaten til atmosfæren. I NSBs "Underbygning-regler for nye baner", som var gjeldende ved termisk dimensjonering av Gardermobanen, er denne forskjellen ikke inkludert i dimensjoneringsdiagrammene. Effekten av temperaturforskjellen mellom luft og overflate er inkludert i Jernbaneverkets nye regelverk (1998).

Et snødekket på fyllingsoverflaten vil redusere frostnedtrengningen sammenliknet med barfrostforhold. Gjentagelsesperioden for kombinasjonen av de to hendelsene, 100 års frostmengde og fullstendig snøfri fyllingsoverflate, er høyere enn 100 år. Eller sagt på en annen måte, det er mindre enn 1 % sannsynlighet for at disse to hendelsene skal opptre i kombinasjon i et gitt år. Vanligvis er det mindre snødekket på overflaten av jernbanefyllinger sammenliknet med frimark. Snøen på jernbanefyllinger brøytet ofte bort eller blåser bort ved togpasseringer. Det har derfor vært vanlig dimensjoneringspraksis å ikke inkludere den mulige positive effekten av et snødekket. I Jernbaneverkets regelverk for prosjektering og bygging (1998) heter det, "Isolerende effekt av snølag medregnes ikke ved frostdimensjonering".

Oppsummert kan vi si at frostbelastningen som er lagt til grunn ved termisk dimensjonering av Gardermobanen er gitt ved:

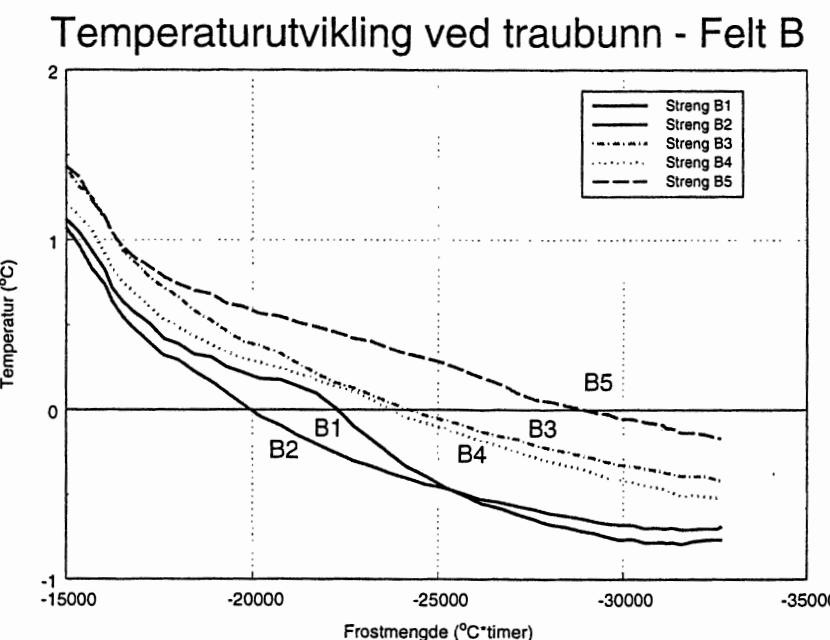
- 100 års frostmengde for luft, $F_{100} = 30\,000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{timer}$.
- Ikke påslag for kaldere temperaturer ved terrengoverflate
- Isolerende effekt fra et eventuelt snødekket er ikke medregnet

3 TOLKNING AV RESULTATER

Forsøket startet 3 februar i år (dagnr. 34) og ble avsluttet 10 mai (dagnr. 130). Kjøleaggregatet ble satt i drift 9 februar (dagnr. 40) og den dimensjonerende frostmengden tilsvarende 100 års vinteren $F_{100} = 30\,000 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{timer}$ ble oppnådd 26 april (dagnr. 116).

3.1 Gjennomfrysning

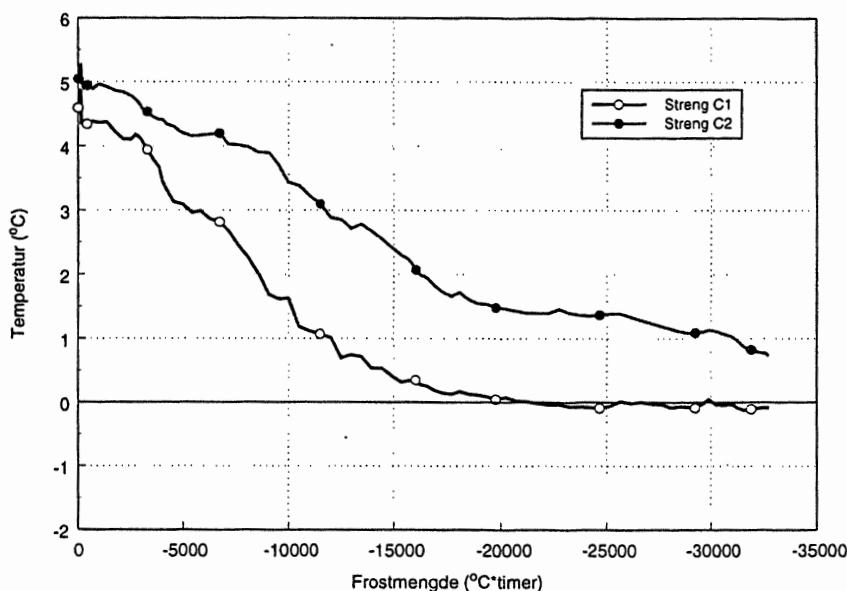
Gjennomfrysning av fyllingen finner sted når temperaturen ved traubunn passerer 0 °C og blir negativ. Frosten trenger da ned i insitu telefarlig materiale. Islinsedannelse og telehiv må forventes ved videre akkumulering av frostmengde. For fyllingen bestående av kun sprengstein - Felt B viser figur 1 at gjennomfrysning av fyllingen finner sted for en frostmengde mellom 20 000 og 30 000 °C*timer.



Figur 1 Temperaturutviklingen ved traubunn for målere i felt B

For fyllingen bestående av Leca lettklinker i kombinasjon med sprengstein, felt C, er det kun målestreng C1 og C2 som egner seg for å bestemme temperaturen på traubunn.

Temperaturutvikling ved traubunn

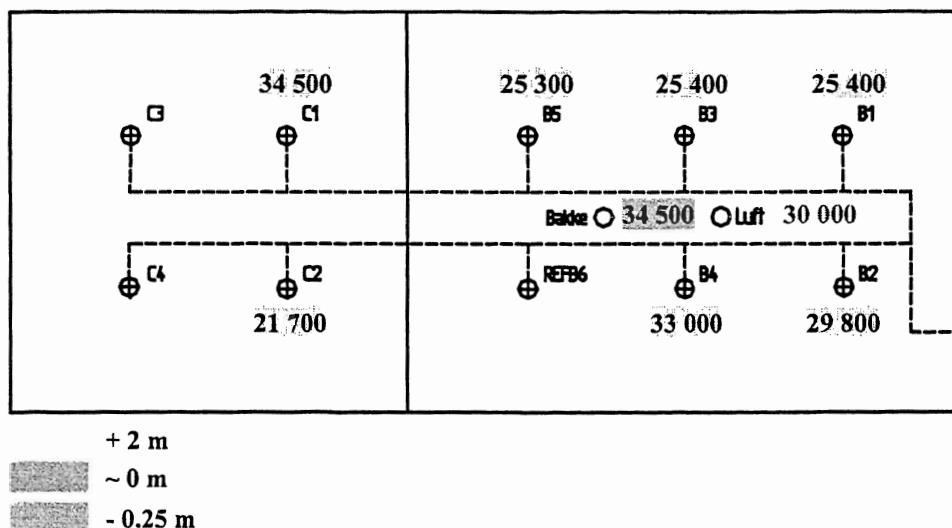


Figur 2 Temperaturutviklingen ved traubunn for to målere i felt C

Resultatene vist i figur 2 viser at fyllingen ved målestreng C1 fryser gjennom for en frostmengde i overkant av 20 000 °C*timer, mens temperaturen ved traubunn for målestreng C2 er ca. +1 °C ved dimensjonerende frostmengde lik 30 000 °C*timer.

Ingen av temperaturmålerne er plassert nøyaktig i nivå med traubunn. Temperaturen på traubunn som vist i figur 1 er bestemt ved en lineærinterpolasjon mellom de to nærmeste målepunktene over og under traubunn, mens det for figur 2 er benyttet en lineær ekstrapolasjon fra to målepunkter i Leca lettlinker laget.

3.2 Kjøleviftenes innvirkning

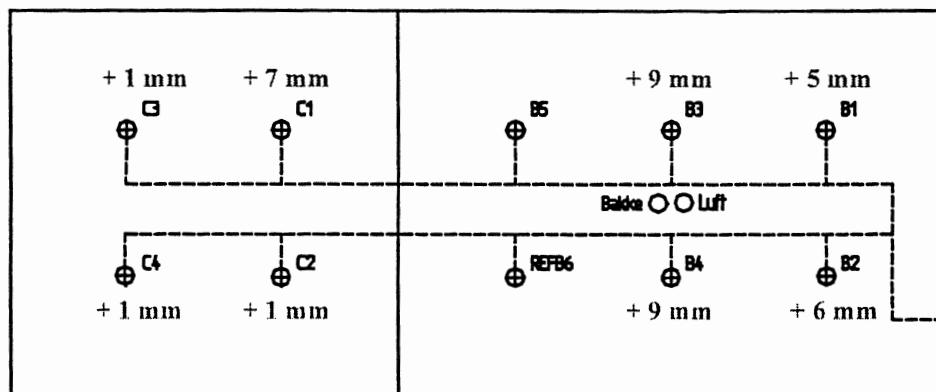


Figur 3 Registrert akkumulert frostmengde for ulike målepunkter

Resultatene er noe påvirket av målestrengens plassering i forhold til kjøleviftene. Luftstrømmen er sterkest (har størst hastighet) like fremfor viftene i blåseretningen. Dette har ført til et noe større varmetap (antagelig som følge av konveksjon) for den øvre delen av fyllingen (ballastpukken) i dette området. For målestreng C1 viser alle målerne litt lavere temperatur sett i forhold til resten av C-målerene. Dette kan skyldes at måleren står nært opp mot luftstrømmen fra ett av kjølebatteriene. Videre viser målestreng B4 avvikende lavere temperatur i toppen sammenliknet med de andre B målerne. Figur 3 viser fordeling av akkumulert frostmengde ved avslutning av forsøket. Som det fremgår av figuren har temperaturen nede ved overflatemåleren også vært lavere sammenliknet med lufttemperaturmåleren.

3.3 Telehiv

Telehiv er registrert ved å sammenlikne to presisjonsnivvellement



Figur 4 Registrert telehiv for ulike målere

(målenøyaktighet +/- 1 mm) av toppen av målestengene inne i forsøkshuset. Resultatene som vist i figur 4, viser at den delen av fyllingen som består av kun sprengstein har hevet seg mellom 5 og 9 mm i perioden mellom påførte 21 000 °C*timer (6 april) og 32 000 °C*timer (8 mai). I samme periode har kun en av målestengene i Lecafyllingen (C1) hevet seg utover måleusikkerheten.

4 ETTERREGNING AV FRYSEFORSØK

På oppdrag fra NGI har SINTEF Bygg og miljøteknikk etterregnet fryseforsøket på jernbanefyllingen. Fryseforsøket er etterregnet ved bruk av endimensjonale endelige elementmodeller av prøvefyllingen og undergrunnen ned til nivå for nederste temperaturmåler. Etterregningen er videre basert på data for prøvefyllingen, temperaturmålinger fra frostforsøket og vanninnhold for prøver tatt ved oppgraving av fyllingen.

De utførte etterregningene viser at det er stor variasjon i varmeledningsevne for en gitt sprengsteinstype i felt. På grunnlag av tidligere målinger utført av NGI, ble det før etterregningen antatt en varmeledningsevne lik 0.8 W/mK for sprengsteinen i fyllingen. Innenfor det begrensede området for prøvefyllingen viste etterregningene imidlertid at varmeledningsevnen varierte mellom 0.6 og 1.1 W/mK.

Ved termisk dimensjonering bør man ta hensyn til slike lokale variasjoner av termiske parametere. Dette kan man gjøre ved å benytte en tilstrekkelig høy dimensjonende varmeledningsevne for sprengstein. SINTEF anbefaler at karakteristiske varmeledningsevner bør gis et påslag som tar hensyn til variasjoner i utlagt masse. Dette kan for eksempel gjøres ved å multiplisere

karakteristiske verdier for varmeledningsevne med en materialfaktor slik som det gjøres for andre geotekniske parametere.

Videre viser resultatene fra etterregningene, samholdt med målte temperaturer og telehiv, at Leca delen av fyllingen tåler den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved $F_{100} = 30\ 000\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ uten gjennomfrysning. Sprengsteinsfyllingen opplever gjennomfrysning før dimensjonerende frostmengde.

SINTEF's rapport "Etterregning av frostforsøk på Leirsund" er vedlagt denne rapporten i vedlegg A.

5 VANNINNHOLD I FELT

Ved oppgraving av prøvefyllingen ble vanninnholdet for sprengsteinen og Leca lettlinkeren bestemt. Vanninnholdet for sprengstein ble målt til ca. 5.5 vekt % for materialet < 20 mm. Ved korrigering i henhold til kornfordelingskurve gir dette 1.2 vekt % vanninnhold for sprengstein i fraksjonen 0-250 mm. Vanninnholdet for Leca lettlinker i fraksjonen 10-20 mm ble målt til å være 24 vekt %. Vanninnholdet for sprengstein i fraksjonen 0 – 500 mm ble ikke målt.

NGI (1996) har tidligere vurdert vanninnholdet for sprengstein i fraksjonen 0 – 250 mm levert fra Berger grustak (av samme type som benyttet i Gardermobanen). Maksimalt vanninnhold (i jordfuktig tilstand dvs. ikke mettet) ble da målt til 4.5 vekt %. Ved levering fra Berger ble vanninnholdet målt til ca. 0.8 – 0.9 vekt %.

6 KONKLUSJONER

På oppdrag fra NSB Gardermobanen AS har Norges Geotekniske Institutt i perioden 1996-1998 utført et prosjekt for å undersøke frostmotstanden til Gardermobanens jernbanefylling. Store deler av traseen til Gardermobanen går gjennom områder med meget telefarlige marine leir og siltavsetninger. I disse områdene er jernbanefyllingens minimumstykkele bestemt av kravet om tilstrekkelig frostmotstand.

For denne høyhastighetsbanen ble den såkalte 100 års vinteren valgt som dimensjonerende frostbelastning. Det benyttes 100 års frostmengde basert på lufttemperatur for en representativ værstasjon. For området Lillestrøm-Leirsund er $F_{100} = \text{ca. } 30\ 000\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$.

I løpet av fryseforsøket ble fyllingen utsatt for en frostmengde $F = 32\ 696\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ målt som akkumulert verdi for en lufttemperaturmåler montert i 2 m høyde over fyllingen inne i forsøkshuset.

Resultatene viste at temperatur og målt frostmengde har variert over prøve-fyllingen slik at det i enkelte områder lokalt har vært en frostmengdebelastning på over $34\ 500\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$. Generelt har det vært kaldere på fyllingsoverflaten sammenliknet med i luften 2 m over fyllingen.

- En samlet vurdering av resultatene viser at sprengsteinsfyllingen i forsøksfeltet ikke tåler den dimensjonerende frostbelastningen gitt ved en frostmengde $F_{100} = 30\ 000\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ basert på lufttemperatur i kombinasjon med snøfrie forhold.
- Fyllingen som er bygget opp med bruk av sprengstein i kombinasjon med løs Leca lettklinker tåler dimensjonerende frostbelastning uten at fyllingen gjennomfrys.
- Fyllingen bestående av kun sprengstein og med en total fyllingstykke lik 2.32 m opplever gjennomfrysning for en frostmengde varierende mellom 20 000 og 30 000 $^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ og utsettes for telehiv i perioden mellom påførte ca. 21 000 og 32 696 $^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$.
- Ved en målestrek i sprengsteinsfyllingen, B4, hvor frosten trenger gjennom fyllingen for en påført frostmengde (basert på lufttemperaturmåling) lik ca. $23\ 700\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$, har det lokalt vært en avvikende høyere frostbelastning sammenliknet med resten av felt B. Den totale akkumulerte frostmengde registrert 0.25 m ned i fyllingen var lik $37\ 359\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ ved avslutningen av forsøket.
- Fyllingen bestående av Leca lettklinker i kombinasjon med sprengstein med en total fyllingstykke lik 1.62 m tåler en større frostmengde enn dimensjonerende. Største del av fyllingen (med unntak av en måler) opplever hverken gjennomfrysning eller telehiv ved påført frostmengde lik $32\ 696\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$.
- Ved målestrek, C1, i fyllingen bestående av kombinasjon mellom Leca lettklinker og sprengstein, oppleves gjennomfrysning for en påført frostmengde (basert på lufttemperaturmåling) lik ca. $20\ 500\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$. Frostbelastningen ved dette punktet (rett i forkant av en av viftene) er registrert 0.25 m nede i fyllingen til å være $39\ 153\ ^\circ\text{C} \cdot \text{timer}$ ved avslutningen av forsøket. Dette kan forklare avviket mellom responsen for målestrek C1 sammenliknet med de andre C-felt målestrekene.

7 REFERANSER

FROST I JORD (1976)

Sikring mot teleskader, Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens vegvesens Utvalg for frost i jord. Publikasjon nr. 17

Byggforskserien (1995)

Data for frostsikring

Byggdetaljer, 451.021 Del 1, Sending 1 - 1995

Jernbaneverket (1998)

Underbygning – Regler for prosjektering og bygging

JD 520, Utg. 01.01.98

NGI (1996)

Måling av varmeledningsevne i sprengstein

Ufrosset varmeledningstall for stein i fraksjonen 0 – 250 mm, jordfuktig tilstand.

NGI (1998)

Frostforsøksstasjon Leirsund

Temperaturmålere og loggeutstyr-Installasjonsrapport

NGI rapport 960111-1, 20 mars 1998

NGI (1998)

Frostforsøksstasjon Leirsund

Resultater fra fryseforsøk

NGI rapport 980011-1, Rev. 1, 15 juni 1998

NGI (1998)

Frostforsøksstasjon Leirsund

Grunnforhold ved forsøksfeltet

NGI rapport 960111-2, 5 mars 1998

Vedlegg A - SINTEF Bygg og miljøteknikk - Etterregning



SINTEF

SINTEF Bygg og miljøteknikk
Geoteknikk

Postadresse: 7034 Trondheim
Besøksadresse: Høgskoleringen 7
Telefon: 73 59 46 00
Telefaks: 73 59 53 40

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Etterregning av frostforsøk på Leirsund

FORFATTER(E)

Tone Furuberg

OPPDRAUGSGIVER(E)

Norges Geotekniske Institutt

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAUGSGIVERS REF.	
STF22 F98642	Prosjektintern	Lars Andresen	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR. 22k038.02	ANTALL SIDER OG BILAG 30/3
ELEKTRONISK ARKIVKODE	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Rapport_22k03802.doc		VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) 611 1998-11-24	Geir Svanø, Forskningssjef <i>Geir Svanø</i>

SAMMENDRAG

På oppdrag fra Norges Geotekniske Institutt (NGI) har SINTEF Bygg og miljøteknikk etterregnet frostforsøket på prøvefyllingen ved Gardermobanen på Leirsund.

Prøvefyllingen er overbygd med et isolert "hus" utstyrt med 2 kjøleaggredater. Frostforsøket skulle tilsvare en vinter med frostmengde 30.000 timer°C i luft. Dette ble oppnådd 26 april for temperaturmåleren i luft. Resultatene fra temperaturmålingene viser imidlertid at det er stor spredning i målt frostmengde og temperatur i øverste måler i hver målestreg.

Frostforsøkene er etterregnet ved hjelp av endimensjonale endelig elementmodeller av prøvefyllingen og undergrunnen ned til nederste temperaturmåler. Etterregningen av frostforsøket er basert på data for fyllingen på Leirsund, temperaturmålinger fra frostforsøket og vanninnhold for prøver tatt ved fjerning av fyllingen.

Utgangsverdi for varmeledningsevne for sprengstein er basert på målinger utført ved NGI. For Leca er benyttet varmeledningsevne basert på måleresultater fra MiljøIso-prosjektet. Observert temperatur over tid, for topp og bunn av den modellerte jordkolonnen, er brukt som randbetingelser for analysene. Målt temperaturprofil ved starten av frostforsøket er benyttet som initialtilstand for analysene.

Når korrekte varmetekniske data er lagt inn i modellen skal simulering over forsøksperioden resultere i et temperaturprofil som sammenfaller med målt temperaturprofil ved slutt av forsøket.

De utførte etterregningene viser at det er stor variasjon i varmeledningsevne for en gitt sprengsteintype i felt. På grunnlag av NGI sine målinger ble det før etterregningen antatt en varmeledningsevne lik 0.8 W/mK for sprensteinen i fyllingen. Innen det begrensede området for prøvefyllingen varierer etterregnet varmeledningsevne for sprengstein mellom 0.6 og 1.1 W/mK, eller 0.75 til 1.4 ganger utgangsverdi.

Ved dimensjonering av frostsikring må det tas hensyn til de relativt store variasjonene i egenskapene til sprengstein. Dette kan gjøres ved å gi målte varmeledningsverdier et påslag. For sprensteinen i prøvefyllingen vil beregning etter formelverket i "Sikring mot teleskader" gi varmeledningsevne som er på den sikre siden.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Geoteknikk	Geotechnical Engineering
GRUPPE 2	Varmeledningsevne	Thermal conductivity
EGENVALGTE	Etterregning	Back-calculation

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. Sammendrag.....	3
2. Bakgrunn	4
3. Fremgangsmåte ved etterregning av frostforsøket	5
4. Datagrunnlag for etterregningene	6
4.1 Oppbygging av prøvefyllingen	6
4.2 Grunnforhold	6
4.3 Data fra oppgravning/fjerning av prøvefyllingen	6
4.4 Målt varmeledningsevne for spregstein.....	6
4.5 Målt varmeledningsevne for Leca.....	7
4.6 Varmetekniske parametere fra "Sikring mot teleskader"	7
4.7 Temperaturmålinger i prøvefyllingen	7
4.7.1 Temperaturmålere.....	7
4.7.2 Variasjon i temperatur og frostmengde over prøvefyllingen	8
5. Materialparametere og randbetingelser for analysene	10
5.1 Randbetingelser.....	10
5.2 Varmetekniske data	10
5.2.1 Volumetrisk varmekapasitet.....	10
5.2.2 Varmeledningsevne	10
6. Utførte analyser - konklusjoner	12
7. Referanser	14
8. Figur og vedleggsliste	15

1. Sammendrag

På oppdrag fra Norges Geotekniske Institutt (NGI) har SINTEF Bygg og miljøteknikk etterregnet frostforsøket på prøvefyllingen ved Gardermobanen på Leirsund.

Den del av prøvefyllingen som er bygget med Leca består av 3 lag.

- 500 mm ballast pukk
- 720 mm spengstein 0 - 250 mm
- 400 mm Leca 10-20

I den del av fyllingen som tilsvarer Gardermobanens normalprofil, Del B av fyllingen, er det i stedet for 400 mm Leca 10 - 20, benyttet 1100 mm spengstein 0 - 500 mm.

Prøvefyllingen er overbygd med et isolert "hus" utstyrt med 2 kjøleaggregater. Frostforsøket skulle tilsvare en vinter med frostmengde 30.000 timer°C i luft. Dette ble oppnådd 26 april (dag nr. 116-1998, 83 dager etter forsøksstart) for temperaturmåleren i luft. Resultatene viser imidlertid tydelig at frostmengde og temperatur i øverste temperaturmåler i grunnen varierer mye fra målestreng til målestreng.

Frostforsøkene er etterregnet ved hjelp av endimensjonale endelig elementmodeller av prøvefyllingen og undergrunnen ned til nivå for nederste temperaturmåler.

Etterregningen av frostforsøket er basert på data for fyllingen på Leirsund, temperaturmålinger fra frostforsøket og vanninnhold for prøver tatt ved fjerning av fyllingen.

Utgangsverdi for varmeledningsevne for spengstein er basert på målinger utført ved NGI. For Leca er de benyttede verdiene for varmeledningsevne basert på måleresultater fra MiljøIso-prosjektet¹. Varmeledning for Leca 10-20 med 24 vekt% vann, er mellom 0.16 og 0.21W/mK - avhengig av temperatur.

Observert temperatur over tid for topp og bunn av den modellerte jordkolonnen er brukt som randbetingelser for analysene. Målt temperaturprofil ved starten av frostforsøket er benyttet som initialtilstand for analysene.

Når korrekte varmetekniske data er lagt inn i modellen skal simulering over forsøksperioden resultere i et temperaturprofil som sammenfaller med målt temperaturprofil ved slutt av forsøket

De utføret etterregningene viser at det er stor variasjon i varmeledningsevne for en gitt spengstein type i felt. På grunnlag av NGI sine målinger ble det før etterregningen antatt en varmelednings-evne lik 0.8 W/mK for spengsteinen i fyllingen. Innenfor det begrensede området for prøvefyllingen varierer etterregnet varmeledningsevne for spengstein mellom 0.6 og 1.1 W/mK, eller 0.75 til 1.4 ganger utgangsverdien.

Ved dimensjonering av frostsikring må de lokale variasjonene i spengstein, og dermed varmetekniske egenskaper, inkluderes ved å bruke en tilstrekkelig høy dimensjonerende varmelednings-evne for spengstein. De målte verdiene for en gitt type spengstein må gis et påslag som tar hensyn til variasjoner i utlagt masse. For prøvefyllingen ved Leirsund er beregnet varmelednings-evne høyere enn etterregnede og målte verdier.

¹ NFR støttet forskningsprosjekt ved Norsk Leca AS

Konklusjonen etter observasjoner av temperatur og telehiv, samholdt med resultatene fra analysene, er at Leca-delen av fyllingen tåler 30.000 time^oC i luft uten gjennomfrysing. Sprengsteinfyllingen får gjennomfrysing ved denne frostmengden unntatt ved en målestreng.

2. Bakgrunn

På oppdrag fra Norges Geotekniske Institutt (NGI) har SINTEF Bygg og miljøteknikk etterregnet frostforsøket på prøvejernbanefyllingen ved Gardermobanen på Leirsund. Prøvefyllingen ble bygget ved siden av Gardermobanen. Halvparten av fyllingen ble bygget lik banens normalprofil på stedet, med frostsikringslag (nedre forsterkningslag) av sprengstein 0 - 500 mm. Den andre halvdelen av fyllingen ble bygget med 400 mm Leca 10-20 som frostsikringslag. Fyllingen ble bygget på meget telefarlig grunn.

Både prøvefyllingen og selve jernbanefyllingen ble instrumentert med temperaturmålere for å registrere temperatur i fylling og undergrunn.

Over prøvefyllingen ble det satt opp et isolert "hus" utstyrt med kuldeaggregat. I løpet av frostforsøket skulle prøvefyllingen påføres en frostmengde på minimum 30.000 timer^oC. Hensikten med frostforsøket var bla å observere om denne frostmengden førte til gjennomfrysing av prøvefyllingen. Forsøket skulle også gi grunnlaget for å etterregne in-situ varmeledningsevne for sprengstein og Leca 10-20. Frostforsøket ble utført i perioden februar til mai 1998.

Hensikten med instrumenteringen av Gardermobanen var først og fremst å observere frostnedtrengning i vinter med streng kulde. Vinteren 97/98 var mild.

Beskrivelse av grunnforhold, prøvefyllingen med instrumentering og resultater fra frostforsøket er gitt i tre NGI rapporter, ref. /1/ til /3/.

3. Fremgangsmåte ved etterregning av frostforsøket

Frostforsøkene er etterregnet ved hjelp av endimensjonale endelig elementmodeller av prøvefyllingen og undergrunnen ned til nivå for nederste temperaturmåler.

Målt temperatur over tid for topp og bunn av den modellerte jordkolonnen er brukt som randbetingelser for analysene. Målt temperaturprofil ved starten av frostforsøket er benyttet som initialtilstand for analysene.

Når korrekte varmetekniske data er lagt inn i modellen skal simulering over forsøksperioden resultere i et temperaturprofil som sammenfaller med målt temperaturprofil ved slutt av forsøket.

I praksis går etterregningen ut på å finne et sett med materialdata som gjør det mulig å simulere den observert temperaturutvikling i fyllingen med tilstrekkelig nøyaktighet. De aktuelle varmetekniske data er varmeleddning som funksjon av temperatur, volumetrisk vanninnhold samt volumetrisk varmekapasitet for frosset og ufrosset materiale.

Det er mange mulige kombinasjoner av materialparametere. Utfordringen består i å finne varmetekniske parametre som:

- er i samsvar med generelle geoteknisk data for fyllingen
- er i samsvar med tilgjengelig kunnskap om varmetekniske egenskaper for knust stein, Leca og jord
- simulerer riktig temperaturprofil.

Etterregning av frostforsøket er gjort ved hjelp av det geotermiske analyseprogrammet TEMP/W versjon 4, fra Geo-slope International.

4. Datagrunnlag for etterregningene

Etterregningen av frostforsøket er basert på data for fyllingen på Leirsund, temperaturmålinger fra frostforsøket og vanninnhold for prøver tatt ved fjerning av fyllingen, ref. /1/ til /3/, og vedlegg 1.

Varmeledningsevne for sprengstein er basert på målinger utført ved NGI, ref. /4/. For Leca er data for varmeledningsevne basert på måleresultater fra MiljøIso-prosjektet, vedlegg 2.

"Sikring mot teleskader" ref. /5/, er brukt som generell referanse.

4.1 Oppbygging av prøvefyllingen

Lagdeling og nivå for temperaturmålere i prøvefyllingen er vist i Figur 1. Del C av fyllingen er bygget opp av:

- 500 mm ballast pukk
- 720 mm sprengstein 0 - 250 mm
- 400 mm Leca 10-20

I den del av fyllingen som tilsvarer Gardermobanens normalprofil, Del B av fyllingen, er det i stedet for 400 mm Leca 10 - 20 benyttet 1100 mm sprengstein 0 - 500 mm.

4.2 Grunnforhold

Grunnforhold ved forsøksfeltet er beskrevet i NGI Rapport, ref. /1/. Grunnen er undersøkt ved to sjakter 1 m under traubunn. Under prøvefyllingen er det finsandig, leirig silt. Middelverdi for vanninnhold er 20.9 %.

4.3 Data fra oppgraving/fjerning av prøvefyllingen

Ved fjerning av prøvefyllingen våren 1998 tok NGI vanninnholdsprøver av Leca og sprengstein. I tillegg tok de Norsk Leca ut noe større vanninnholdsprøver av Leca fra ett av hullene. Målt vanninnhold i prøvefyllingen er vist i Figur 2 (vekt%).

Vanninnhold for sprengstein er målt på fraksjon 0 - 20 mm. Vanninnhold for sprengsteinprøvene må derfor omregnes til vanninnhold for total sprengsteinmasse før bruk i analysene.

4.4 Målt varmeledningsevne for sprengstein

Målt varmeledningsevne for den type sprengstein som er benyttet i fyllingen er sammenfattet av Andresen i ref. /4/. Resultatene er bearbeidet og vist i Figur 3.

4.5 Målt varmeledningsevne for Leca

Resultater fra målingene av varmeledningsevne for Leca 10-20 er gitt i vedlegg 2. Tabellene er utdrag fra rapport fra Norsk Byggforskningsinstitutt, ref. /6/.

I Figur 4 er målt varmeledningsevne for Leca 10 - 20 vist sammen med data fra "Sikring mot teleskader" fra målinger på Leca med egenvekt 440 kg/m^3 .

Løs Leca og dermed materialets termiske og mekaniske egenskaper er endret i løpet av tiden som har gått siden Frost i Jord prosjektet på 70-tallet. Data for denne typen Leca er tatt med fordi de viser på hvilken måte varmeledningsevne for Leca (med forskjellig vanninnhold) varierer med temperatur. I MiljøIso-prosjektet er hovedtyngden av forsøk utført ved $+10^\circ\text{C}$ på Leca med ulikt vanninnhold.

4.6 Varmetekniske parametere fra "Sikring mot teleskader"

Rapporten "Sikring mot teleskader" er en viktig del av datagrunnlaget for etterregningene selv om data for Leca er noe foreldet. Rapporten gir en generell sammenfatning av varmetekniske egenskaper for jord- og steinmaterialer og Leca av "gammel årgang".

Varmeledningsevne for knuste og naturlige Stein- og jordmaterialer beregnes på grunnlag av materialets metningsgrad samt beregnet varmeledning for tørt og for fullstendig mettet materiale. Fremgangsmåten beskrevet i "Sikring mot teleskader" er vist i Figur 5. Beregningsalternativet for grovt, knust materiale benyttes for sprengstein.

I beregning av varmeledningsevne for sprengstein inngår to empirisk bestemte faktorer. Varmeledningsevnen for tørr sprengstein beregnes som en empirisk faktor (0.12 for knust materiale) dividert med materialets porøsitet. Også i beregning av Kersten's tall inngår også en empirisk faktor (0.7 for grovt materiale 1.0 for fint). For nesten tørr sprengstein er beregnet varmelednings-
evne sterkt avhengig av vanninnhold.

Det fremgår ikke av "Sikring mot teleskader" hvilken type knust materiale som er benyttet i forsøkene som ligger til grunn for bestemmelse de empiriske faktorene. Det kan tenkes at det burde vært benyttet ulike faktorer for forskjellige fraksjoner av knust materiale fra "knust" grus til grovsprengt stein.

Beregnet varmeledningsevne for de fuktige sprengsteinsprøvene som NGI målte varmelednings-
evne for er 23 til 63 % høyere enn målt varmeledningsevne. For tørt materiale er beregnet
varmeledningsevne lavere enn den målte verdien.

4.7 Temperaturmålinger i prøvefyllingen

I dette prosjektet er det benyttet døgnmiddeltemperaturer for hver måler. Data er lagret på CD vedlagt ref. /3/.

4.7.1 Temperaturmålere

Plassering av temperaturmålerne er vist i vedlagte kopier av tegninger fra NGI, Figur 1a og b. Det er installert 4 strenger med temperaturmålere i Leca delen av prøvefyllingen og 6 strenger med målere i den del av fyllingen som har sprengstein i nedre forsterkningslag.

Med unntak av måler B6 er dypeste måler satt 4 meter under topp fylling. Streng B6 har målere ned til 10 m under toppen av fyllingen. Det er også satt ut en måler for bakketemperatur og en måler for lufttemperatur inne i forsøkshuset.

4.7.2 Variasjon i temperatur og frostmengde over prøvefyllingen

Frostforsøket skulle tilsvare en vinter med frostmengde 30.000 timer°C i luft. Dette ble oppnådd 26 april (dag nr 116-1998) for temperaturmåleren i luft.

Resultatene fra temperaturmålingene, Tabell 4.1 til 4.3 viser tydelig at målt frostmengde og temperatur varierer over prøvefyllingen.

Laveste temperatur målt 0.25 m ned i bakken for målere i B-feltet varierer mellom -22.3°C (Streng B4) og -17.9 °C (streng B3). For C-feltet er variasjon -20.6°C (streng C1) til -17.1°C (streng C2). Kuldepåkjenningen synes å ha vært størst foran viftene, målestrek C1og B4. Frostmengde registrert i temperaturmåleren i luft er derfor ikke et godt mål for frostpåkjenning på bakken over de enkelte temperaturmålerne.

Forskjell i registrert frostmengde 0.25 m ned i bakken, kan også skyldes at kulden ikke "slår ned" i like stor grad i hver punkt pga ulike variasjon i varmetekniske egenskaper for materialene i fyllingen.

I løpet av forsøksperioden varierer temperaturen i grunnen 4 m under toppen av fyllingen med ca 3.1°C under B-feltet og 2.1°C under C-feltet. Grunnen under Leca-laget i felt C er varmere enn grunnen under fyllingen uten Leca.

Tabell 4.1 Variasjon i målt temperatur for sprengsteinfeltet i prøvefyllingen, (B-feltet).

Målestrek	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Snitt
Min. temperatur ved -0.25m	-17.9	-20.8	-17.63	-22.26	-19.57		-19.63
Maks. temperatur ved -4.0m	6.21	6.01	6.034	6.173	5.998	6.047	6.08
Min. temperatur ved -4.0m	2.95	2.94	2.876	2.989	3.219	3.158	3.02
Temperatur variasjon ved -4 m	3.26	3.07	3.158	3.184	2.779	2.889	3.06
	° C	° C	° C	° C	° C	° C	° C

Tabell 4.2 Variasjon i målt temperatur for Leca feltet i prøvefyllingen, (C-feltet).

Målestrek	C1	C2	C3	C4	Snitt
Min. temperatur ved -0.25m	-20.57	-17.047	-19.84	-17.438	-18.72
Maks. temperatur ved -4.0m	5.914	6.43	6.224	6.382	6.24
Min. temperatur ved -4.0m	3.869	4.253	4.214	4.36	4.17
Temperatur variasjon ved -4 m	2.045	2.177	2.01	2.022	2.06
	° C	° C	° C	° C	° C

Tabell 4.3 Akkumulert frostmengde i øverste temperaturmåler i 5 målestrenger.

Dag nr.	<i>Akkumulert målt frostmengde (timer °C)</i>						
	C11 -0.25 m	C21 -0.25 m	B31 -0.25	B41 -0.25 m	B61 -0.50 m	På bakken	I luft
116	-34 509	-21 685	-25 437	-33 031	-17 538	-34 534	-30 052
126	-38 500	-24 788	-28.637	-36 791	-19 889	-38 155	-32 696
130	-39 153	-25 442	-29 173	-37 359	-20 603	-38 364	-32 696

5. Materialparametere og randbetingelser for analysene

For etterregning av målt temperatur ved slutt av frostforsøket er det valgt 5 målestrenger med varierende frostpåkjenning, C1, C2, B3, B4 og B6.

5.1 Randbetingelser

Temperatur som funksjon av tid for målerne 0.25 m (0.5 m for streng B6) ned i er gitt i Figur 6. Temperatur 4 m under topp fylling er gitt i Figur 7, sammen med temperatur 10 m under topp fylling for streng B6. På 10 m dyp er temperaturen i grunnen tilnærmet konstant. På 4 m dyp varierer temperaturen noen grader over forsøksperioden, se Tabell 4.2.

Målt temperaturprofil ved start og slutt av frostforsøket er vist på hver enkelt analyserapport i vedlegg 3.

5.2 Varmetekniske data

5.2.1 Volumetrisk varmekapasitet

Volumetrisk varmekapasitet er beregnet iht ref. /5/. Data for de ulike materialene er gitt i analyserapportene i vedlegg 3.

5.2.2 Varmeledningsevne

Leca

Leca som er benyttet på Leirsund har tetthet ca 300 kg/m^3 , mens materialene som er best undersøkt i "Frost i Jord" har tetthet ca 440 kg/m^3 . De målte verdiene for varmeledningsevnen tidligere og nå kan derfor ikke direkte sammenlignes. De gamle kurvene er imidlertid benyttet for å vurdere temperatur avhengigheten til varmeledning for nyere Leca 10 - 20.

For beregning av varmeledningsevne for Leca er det tatt utgangspunkt i vanninnhold i de store prøvene som Norsk Leca AS tok; 24 vekt % vanninnhold.

Tabell 5.1 Varmeledningsevne for Leca 10-20 med 24 vekt % vanninnhold.

Temperatur	-20°C	-0°C	+0°C	+20°C
Leca, høy varmeledning, fukttransport inkludert.	0.18	0.19	0.16	0.21
Leca lav varmeledning	0.16	0.17	0.14	0.19

Sprengstein

Resultatene av NGI sine målinger av varmeledningsevne for sprengsteinfraksjon er vist i Figur 3. Vanninnhold i sprengstein er målt til ca 5.5 vekt % i materiale < 20 mm.

Sprengstein 0-250 mm har ca 20% materiale < 20 mm. Vanninnhold for total sprengsteinmasse blir da ca 1.2 vekt %. For sprengstein 0-500 mm utgjør fraksjonen < 20 mm enda mindre del av total masse og vanninnhold blir tilsvarende mindre. Det er ikke målt varmeledning for sprengstein 0-500 mm, men på grunn av større andel stor stein, kan varmeledningsevnen tenkes å være noe høyere enn for sprengstein 0-250 mm.

På grunnlag av målt varmeledningsevne for sprengstein av fraksjon 0-250 mm, og målt vanninnhold i felt, er 0.8 W/mK benyttet som første tilnærming til varmeledningsevne i etterregning av frostforsøket på Leirsund. I analysene er varmeledningsevne for sprengstein variert over en vid skala.

Vanninnholdet i sprengstein og pukk er så lavt at det er benyttes samme varmeledningstall for frosset og ufrosset materiale.

Undergrunn av silt

Varmeledningsevnen for undergrunnen er beregnet som beskrevet i "Sikring mot teleskader". Det er tatt utgangspunkt i et vanninnhold på 21 vekt % og tørr romvekt 1700 kg/m³.

Varmeledningsevnen for frosset silt er beregnet til 2.40 W/mK, og for ufrosset silt 1.4 W/mK. I analyseprogrammet er det tatt hensyn til at det foregår en gradvis utfrysing av porevann (og endring av varmeledningsevne) når temperaturen senkes under °C.

6. Utførte analyser - konklusjoner

Innledningsvis ble det utført en rekke analyser med et vidt spenn i inngangsdata for å finne de parameterne som gav best samsvar mellom målte og beregnede temperaturprofil for hver enkelt målesteng. Det ble fort klart at det ikke var mulig å finne ett parametersett som var dekkende for alle målestengene.

Det ble deretter utført etterregning av målesteng C1, C2, B3, B4 og B6 med forskjellige sett av inngangsdata for å se hvilke parametersett som samlet gav best samsvar mellom målte og beregnede temperaturer. Oversikt over et utvalg av de utførte analysene og resultater fra disse er gitt i vedlegg 3, analyserapporter.

Samme sett parametre gir svært ulike avvik mellom målte og beregnede temperaturer for de forskjellige målestengene.

Tabell 6.1 viser **hvilke parametersett som samlet gav best overensstemmelse mellom målte og beregnede temperaturprofil**. Etterregning av C1, C2 og B3 gir best samsvar. Analyse B417 gir noe for lave temperaturer i grunnen, mens analyse B617 gir for høye temperaturer i grunnen.

Målt og beregnet temperaturprofil for dag 126 - 1998 for hver av analysene i tabell 6.1 er vist i figurene 8 til 12.

Tabell 6.1 Varmeledningsevne for analysene som gav best samsvar mellom målt og beregnet temperaturprofil. Tykkelse på fyllingen med Leca var 162 cm, tykkelsen på fyllingen uten Leca var 232 cm.

	Analyse	Varmeledningsevne , W/mK.									Max frostdyp, målt og beregnet Dag 130
		Pukk	Sprengstein. 0 - 250 mm mm		Silt, frosset	Silt ufrosset	Leca -20°C -0°C +0°C+ 20°C				
C1	C117	0.6	0.60		2.40	1.4	0.18	0.19	0.16	0.21	M:1.77m B: 1.78m
C2	C214	1.0	0.90		2.40	1.4	0.18	0.19	0.16	0.21	M:1.61 m B: 1.61 m
B3	B317	0.6	0.60	1.10	2.40	1.4	-	-	-	-	M:2.43m B: 2.40m
B4	B417	0.6	0.60	1.10	2.40	1.4	-	-	-	-	M:2.42m B 2.53m:
B6	B617	0.6	0.60	1.10	2.40	1.4	-	-	-	-	M:2.37 B: 2.20

Måling av telehiv den siste måneden av frostforsøket viste at det var telehiv ved alle målestengene unntatt målesteng C2, C3 og C4 i Leca-delen av fyllingen. Figur 13 viser beregnet temperatur i underkant av fyllingen for målesteng C1 og B3 i analyse C117 og B317. Beregnet gjennomfrysing skjer etter hhv 86 og 91 dager, dvs etter at frostmengden i luft har passert 30.000°C. Figur 14 viser samme data for målesteng B4 og C2 i analyse B417 og C214.

Observasjoner av temperatur og telehiv - samholdt med resultatene fra analysene - tyder på at er at Leca-delen av fyllingen tåler $30.000 \text{ time}^{\circ}\text{C}$ i luft uten gjennomfrysing, mens sprengsteinfyllingen (unntatt ved en målestreng, B3), fryser gjennom.

De utføret etterregningene viser at det er stor variasjon i varmeledningsevne for en gitt sprengsteintype i felt. På grunnlag av NGI sine målinger ble det før etterregningen antatt en varmeledningsevne lik 0.8 W/mK for sprengsteinen i fyllingen. Innenfor det begrensede område som fyllingen omfatter varierer etterregnet varmeledningsevne for sprengstein mellom 0.6 og 1.1 W/mK , eller 0.75 til 1.4 ganger utgangsverdien.

Ved dimensjonering av frostsikring må de lokale variasjonene i sprengstein, og dermed varmetekniske egenskaper, tas hensyn til ved å bruke en tilstrekkelig høy dimensjonerende varmeledningsevne for sprengstein. De målte verdiene for en gitt type sprengstein må gis et påslag som tar hensyn til variasjoner i utlagt masse.

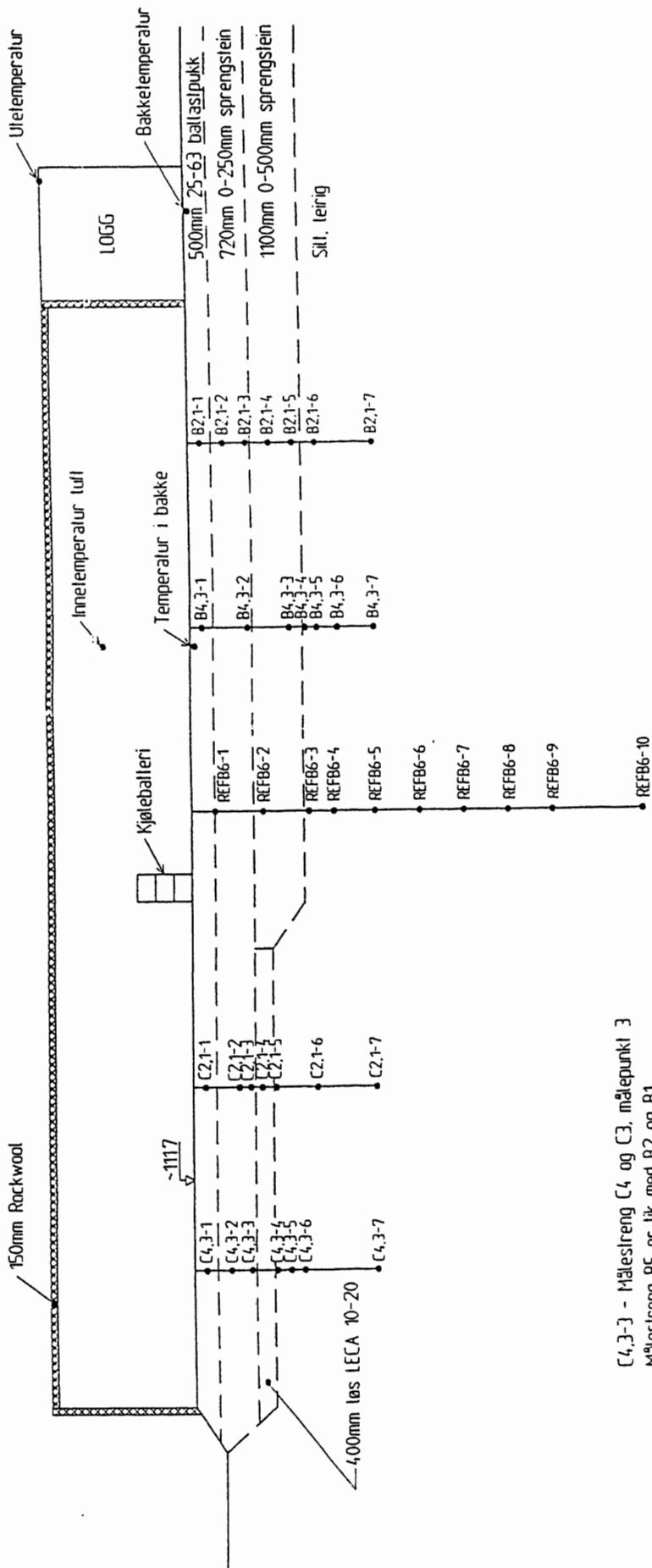
For prøvefyllingen ved Leirsund er beregnet varmeledningsevne høyere enn etterregnede og målte verdier.

7. Referanser

- /1/ NGI-rapport 960111-2, 20 mars 1998.
Frostforsøkstasjon Leirsund. Grunnforhold ved forsøksfelt.
- /2/ NGI-rapport 960111-1, 5 mars 1998.
Frostforsøkstasjon Leirsund. Temperaturmålere og loggeutstyr. Installasjonsrapport.
- /3/ NGI-rapport 980011-1, 15 juni 1998.
Frostforsøkstasjon Leirsund. Resultater fra fryseforsøk.
- /4/ NIF kurs 74450110 Frost i jord -sikring mot teleskader, Gol sept.1997.
Lars Andresen, NGI. "Løsninger- erfaring fra praksis. Frostsikring med sprengstein.".
- /5/ "Sikring mot teleskader". Frost i Jord publikasjon nr 17, Oslo 1976.
- /6/ "Måling av fukt og varmetekniske materialegenskaper til løs lettklinker", Trondheim 1998.
NBI Rapport til as Norsk Leca.

8. Figur og vedleggsliste

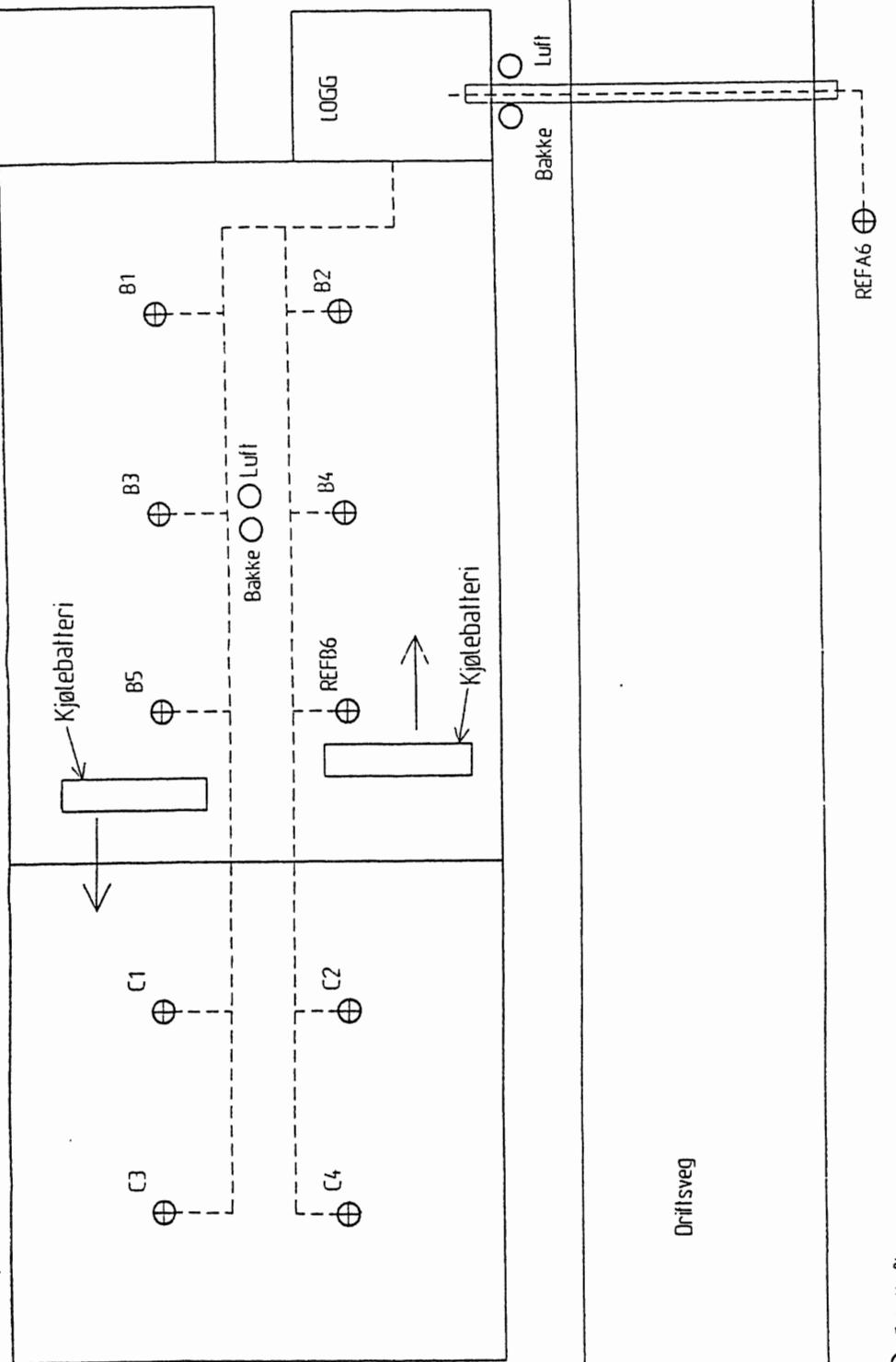
- Figur 1 Lagdeling og nivå for temperaturmålere i prøvefyllingen.
- Figur 2 Målt vanninnhold i prøvefyllingen.
- Figur 3 Målt varmeledningsevne for sprengstein benyttet i Gardermobanen, basert på data fra ref. /4/.
- Figur 4 Målt varmeledningsevne for Leca.
- Figur 5 Beregning av varmeledningsevne for knuste og naturlige stein- og jordmaterialer.
- Figur 6 Temperatur som funksjon av tid for målere 0.25 m ned i fyllingen.
- Figur 7 Temperatur som funksjon av tid for målere 4.0 m under topp fylling og måler 10 m under topp fylling for streng B6.
- Figur 8 til 12 Beregnede og målte temperaturprofiler.
- Figur 13 Beregnet temperatur i underkant av fyllingen for analyse C1-17 og B3-17.
- Figur 14 Beregnet temperatur i underkant av fyllingen for analyse C2-14 og B4-17.
- Vedlegg 1 Vanninnholdsmålinger for prøvefyllingen, data fra NGI.
- Vedlegg 2 Målt varmeledningsevne for Leca 10-20. Data fra MiljøIso prosjektet, ref. /5/.
- Vedlegg 3 Analyserapporter.



C4,3-3 - Målestrekning C4 og C3 målepunkt 3
Målestrekning B5 er lik med B2 og B1

Oppbygging av prøfylling og plassering av
målestrenger med temperaturmålere, fra NGI rapport 980011-1.

Figur1
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22k038.02



Plassering av målestrenger med temperaturmålere,
fra NGI rapport 980011-1.

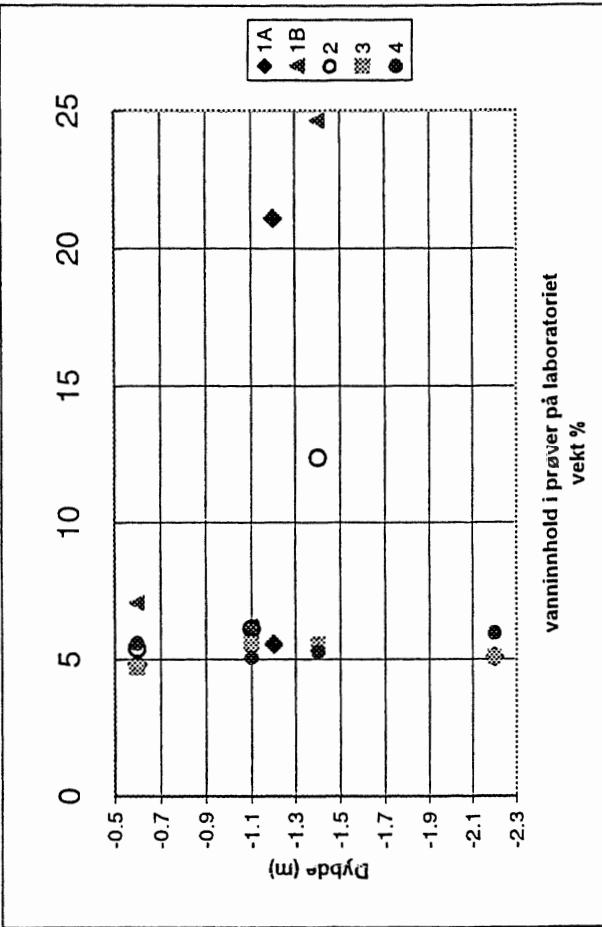
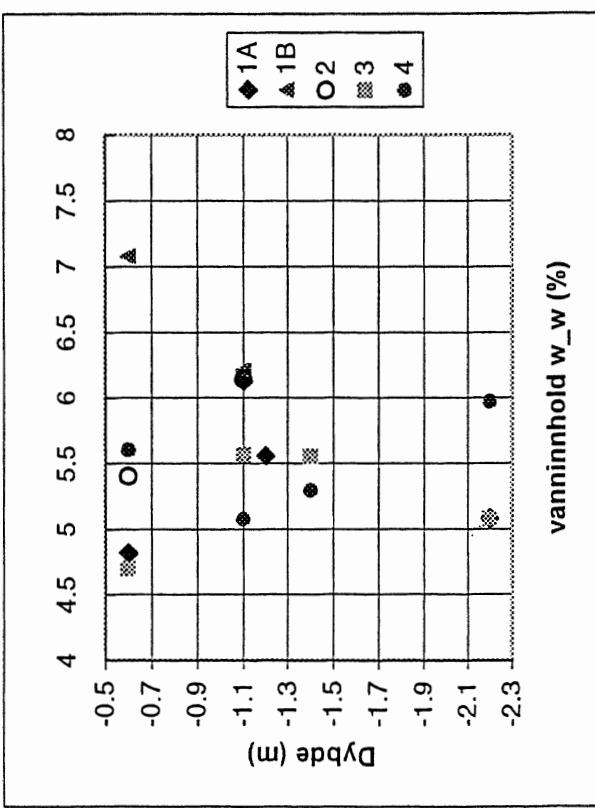
Figur1b

Dato: 1998-10-20

Prosjekt nr.: 22k038.02

	Dybde (m)	1A	1B	2	3	4	Snitt	for hele prøven med 21% matt>20 mm
Pukk 25 63 mm								
Ø. Fl. 0 - 250	-0.6	4.82	7.08	5.41	4.7	5.61		
Ø. Fl. 0 - 250	-1.1	6.13	6.21	6.15	5.57	5.08	5.676 % i ØFL	1.19
Leca 10-20	-1.2	21.12					22.890 % i Leca	2 prøver
Leca 10-20	-1.4		24.66	12.4			19.393 % i Leca	(alle) *
N. Fl 0 - 500	-1.2	5.56						
N. Fl 0 - 500	-1.4				5.56	5.3		
N. Fl 0 - 500	-2.2	5.08			5.08	5.98	5.427 % i NFL	1.14

* Leca AS målte vanninnhold storprøve til 24 %

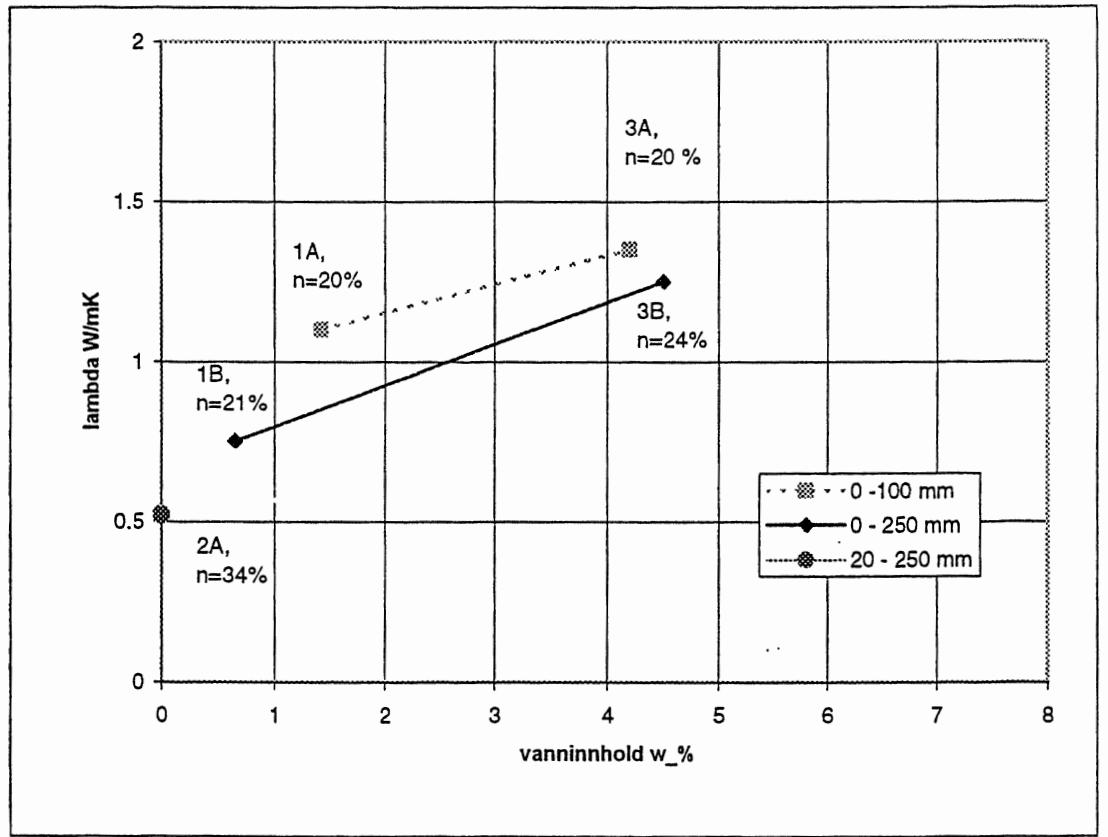


For sprengstein er vanninnhold målt i prøver 0 - 20 mm. Denne fraksjonen utgjør ca 20% av sprengsteinen.
For buk i analysene må derfor vanninnhold for sprengstein justeres til verdier for de totale massene

Figur 2
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22k038.02

Målt vanninnhold i fylling Leirsund

Prøve	w	lambda	Fraksjon	n	kN/m3
2A, 20 - 250	0	0.52	20-250	34	17.4
1B, 0 - 250	0.65	0.75	0-250	21	21.0
1A, 0 - 100	1.42	1.1	0-100	20	21.2
3A, 0 - 100	4.2	1.35	0-100	20	21.3
3B, 0 - 250	4.5	1.25	0-250	24	20.2

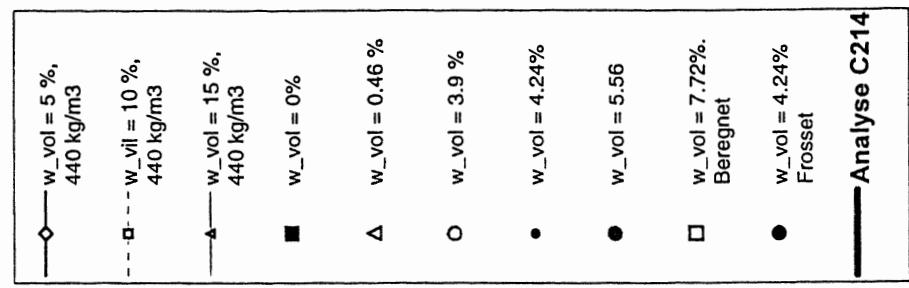
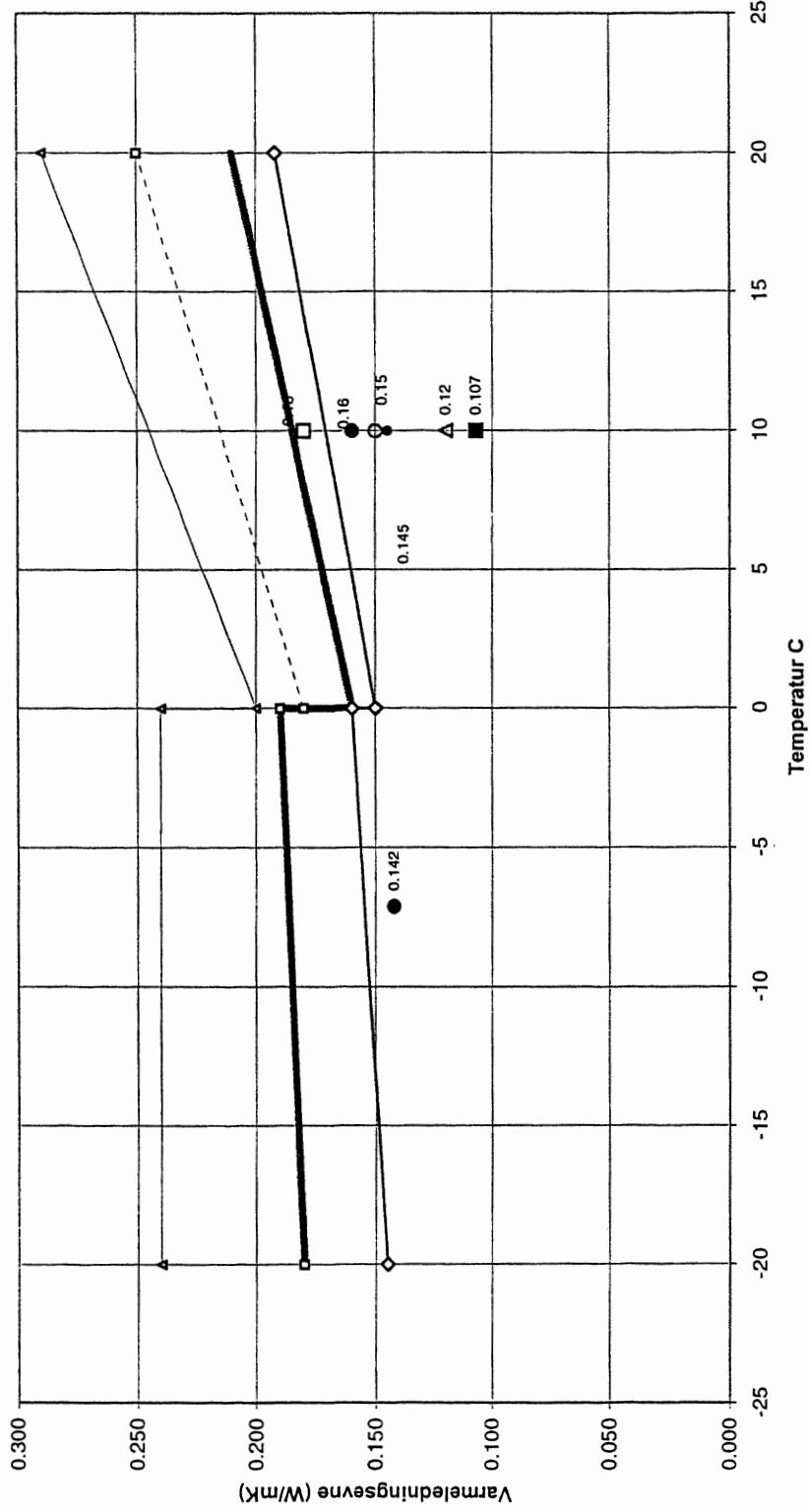


Målt varmeledningsevne i
sprengstein fra Gardermobanen.
Basert på ref /4/.

Figur 3
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22k038.02

Varmeledning LECA

Heltiske linjer; data fra Frost i Jord
Punkt; data fra Mijølso prosjektet - målte ukorrigerte verdier



Figur 4
Dato: 1998-10-20
Prosjektnr. 22k038.02

Varmeledning i Leca

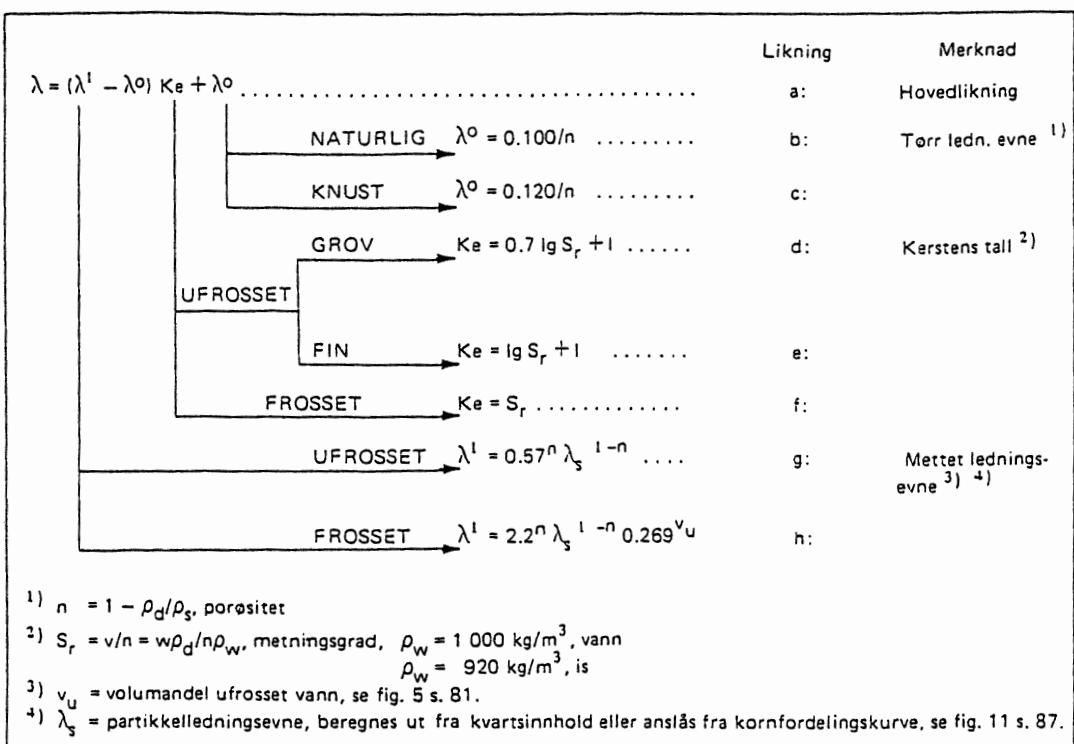
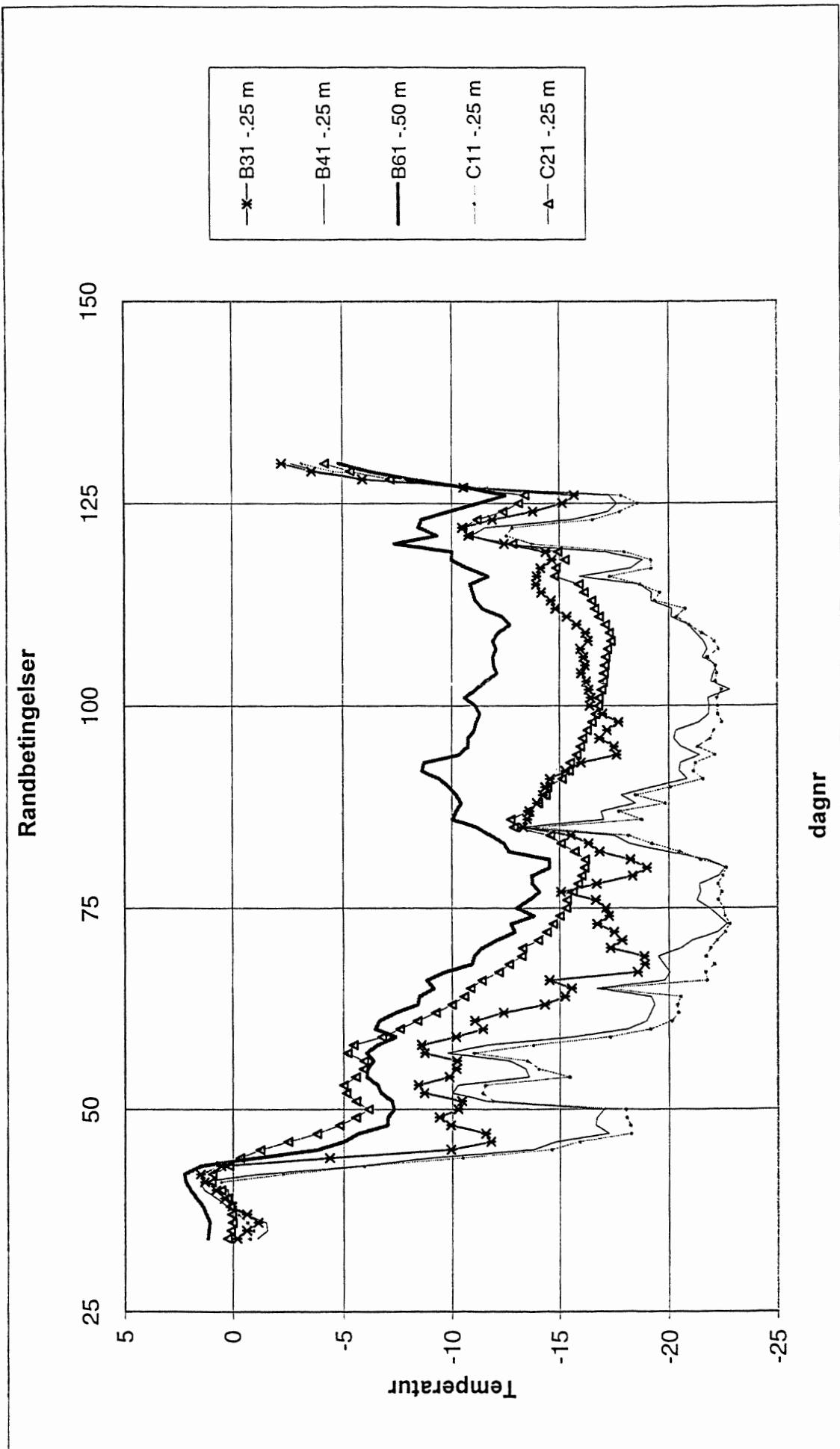
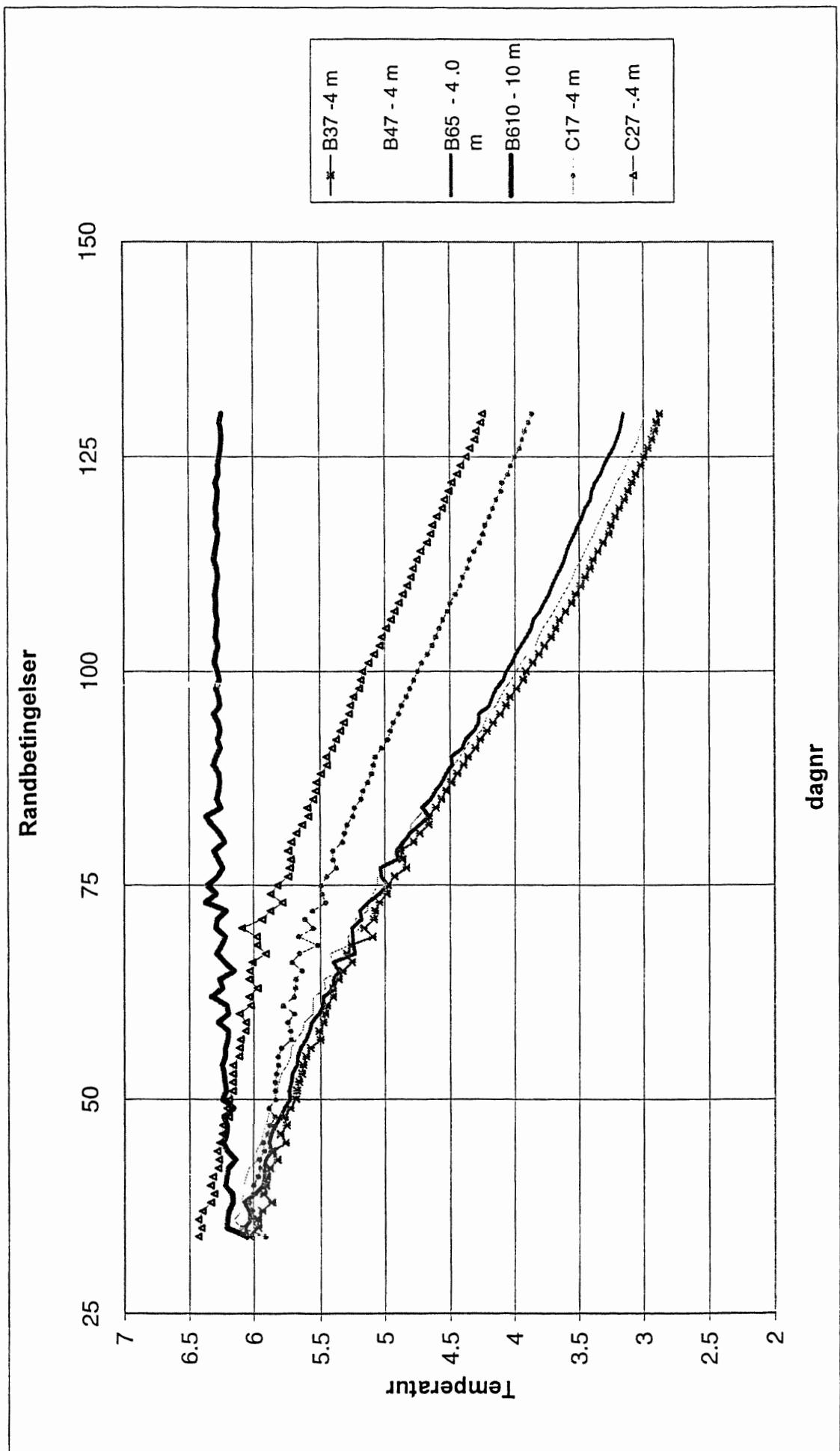


Fig. 13. Beregningsmodell for varmeledningsevne av mineralske jordarter. Grovkornet: $0\% < 0.002\ mm$. Finkornet: Mer enn $5\% > 0.002\ mm$.



Randbettingelser øvre rand.
Temperaturer for øverste måler i streng C1, C2, B3, B4 og B6.

Figur 6
Dato : 1998-10-20
Prosjekt nr. 22k038.02

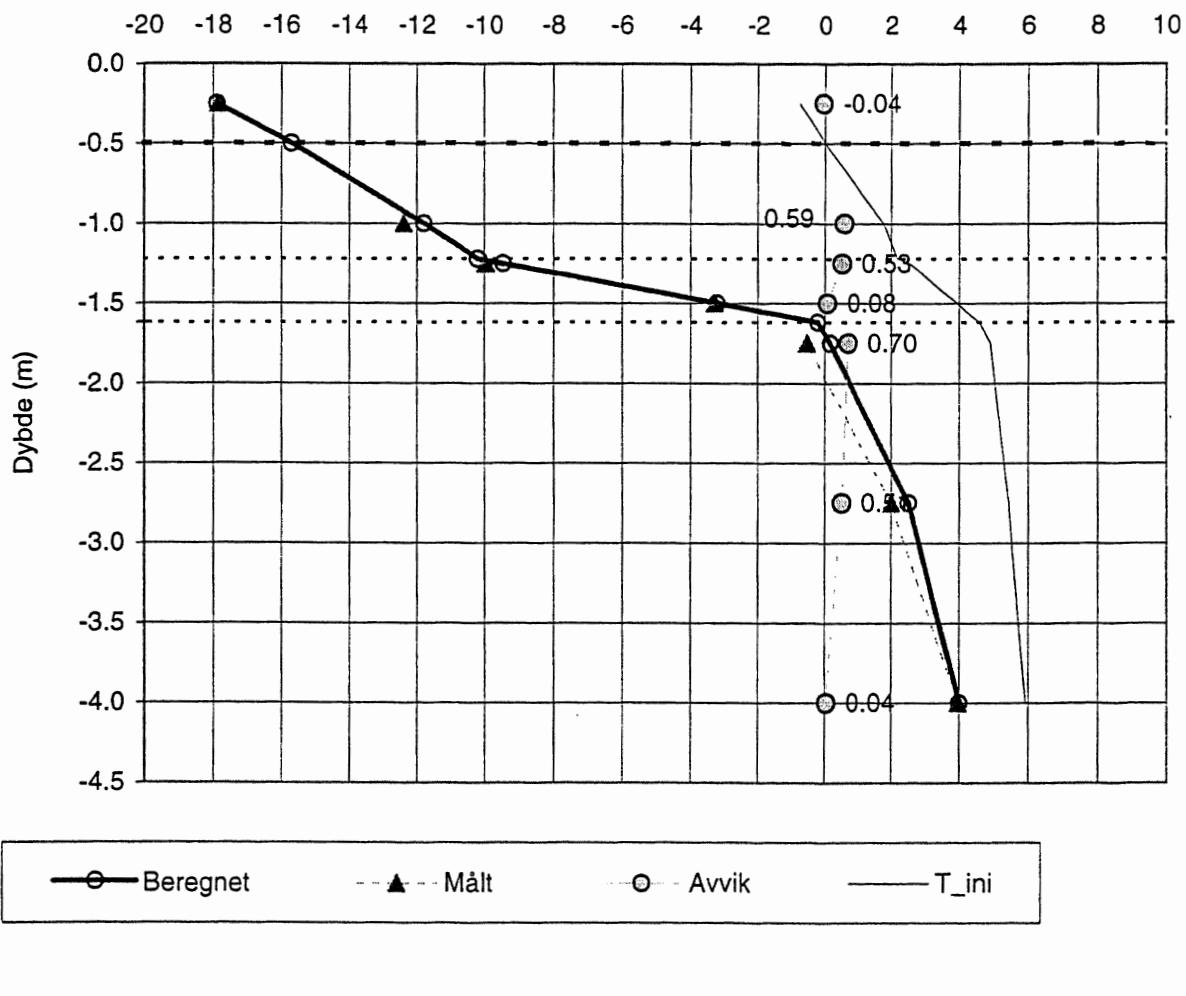


Figur 7
Dato : 1998-10-20
Prosjekt nr. 22k038.02

Randbettingelser for nederste rand.
Temperaturer for øverste målere i streng C1, C2, B3, B4 OG B6.

Dybde	Beregnet	Målt	Avvik	Initial temp.
m	dag 126	dag 126	T_b . - T_m	dag 34
-4.00	4.000	3.963	0.04	5.914
-2.75	2.510	2.001	0.51	5.441
-1.75	0.158	-0.541	0.70	4.905
-1.62	-0.219			4.600
-1.50	-3.210	-3.287	0.08	3.939
-1.25	-9.450	-9.977	0.53	2.574
-1.22	-10.200			2.200
-1.00	-11.800	-12.391	0.59	1.767
-0.50	-15.700			0.022
-0.25	-17.900	-17.860	-0.04	-0.763

Målestreng C1
Analyse C117 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil

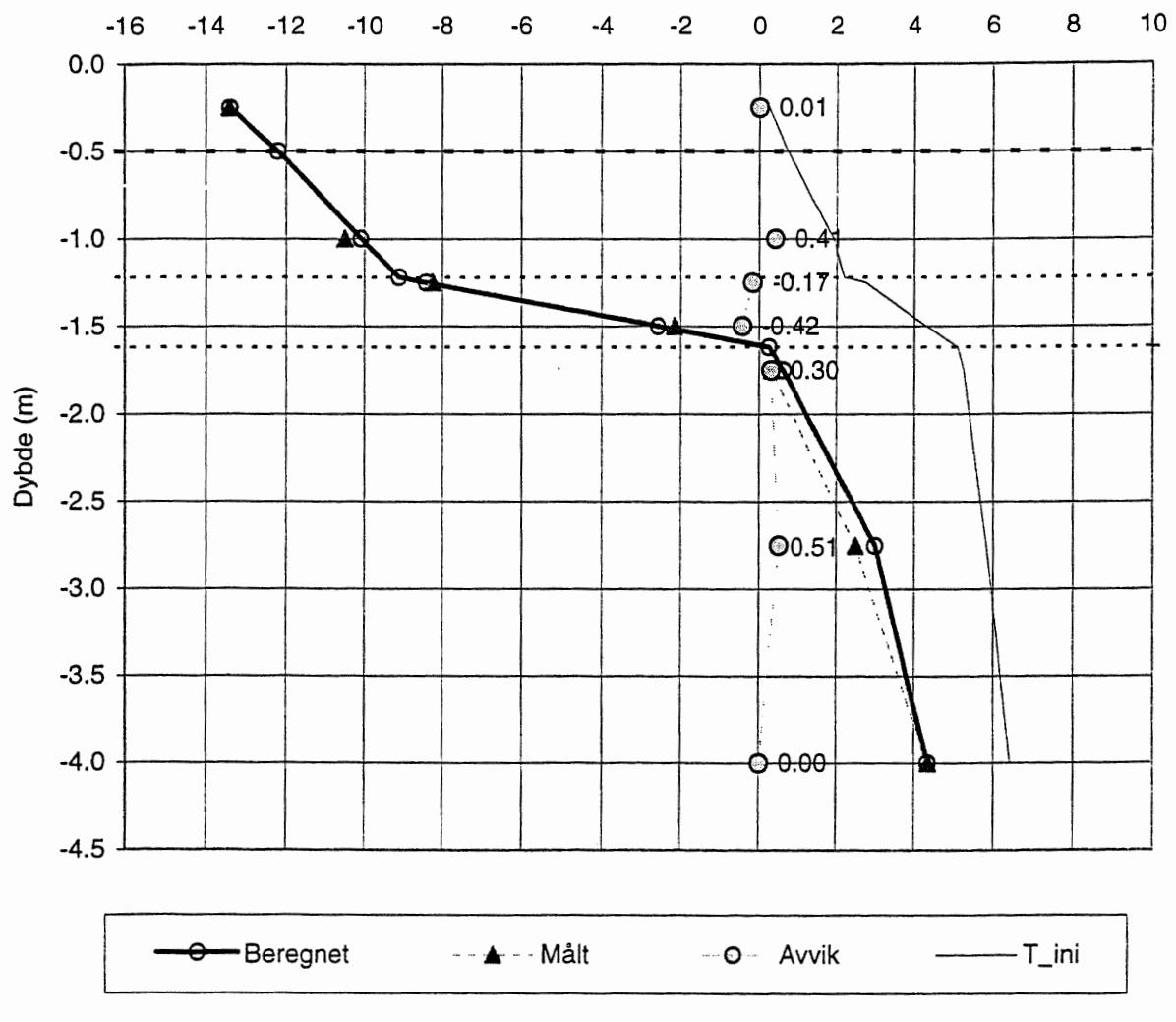


Målestreng C1
Analyse C117_126.
Målt og beregnet temperaturprofil dag 126.

Figur 8
Dato 1998-10-20
Prosjekt nr. 22k038.02

Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.350	4.347	0.00	6.430
-2.75	2.990	2.482	0.51	5.830
-1.75	0.625	0.321	0.30	5.254
-1.62	0.253			5.100
-1.50	-2.580	-2.156	-0.42	4.305
-1.25	-8.420	-8.253	-0.17	2.758
-1.22	-9.110			2.200
-1.00	-10.100	-10.513	0.41	1.918
-0.50	-12.200			0.741
-0.25	-13.400	-13.406	0.01	0.258

Målestreng C2
Analyse C214 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil

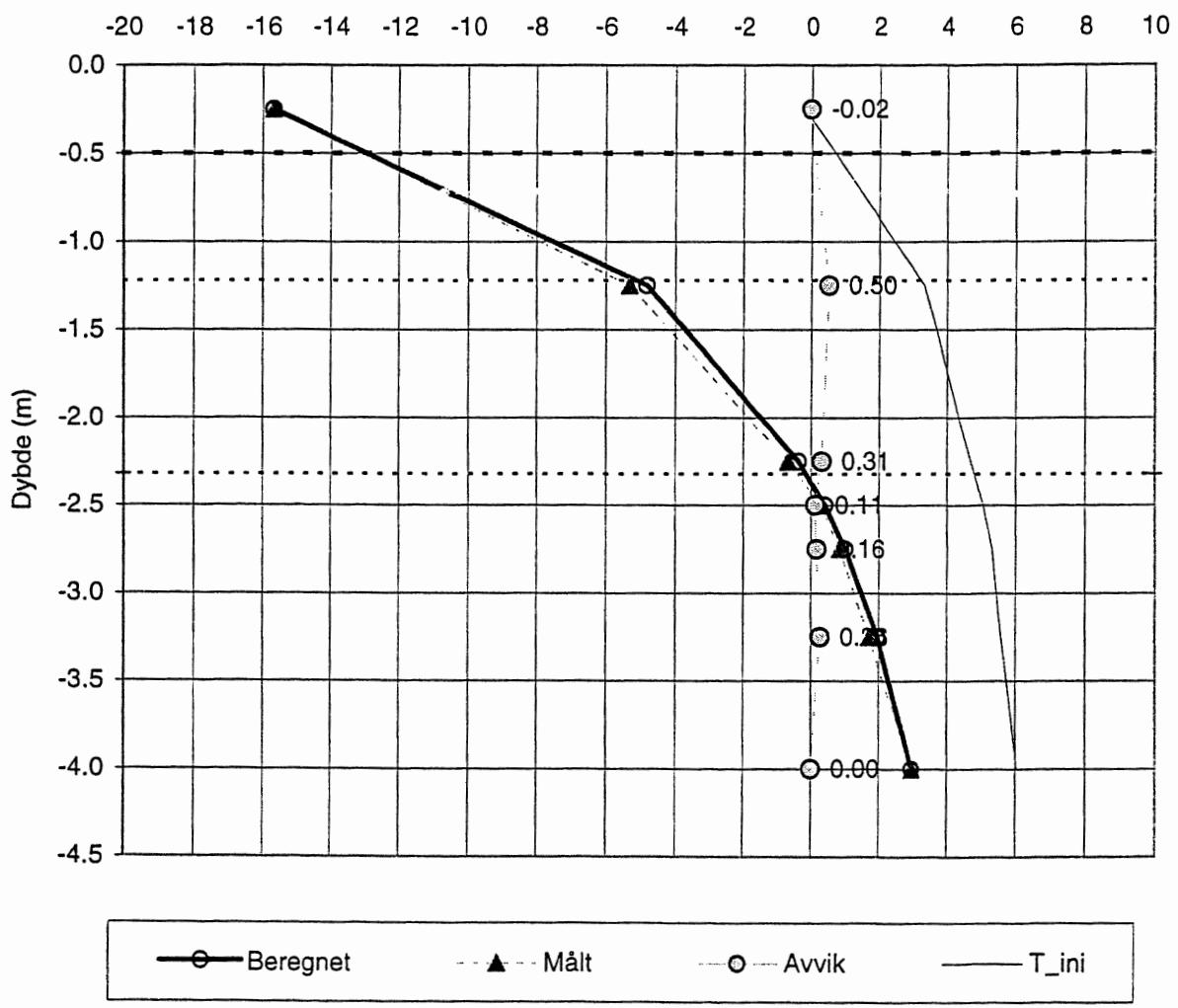


Målestreng C2.
Analyse C214-126.
Målt og beregnet temperaturprofil dag 126.

Figur 9
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.960	2.963	0.00	6.034
-3.25	1.960	1.698	0.26	5.579
-2.75	0.983	0.821	0.16	5.319
-2.50	0.390	0.276	0.11	5.063
-2.25	-0.381	-0.686	0.31	4.690
-1.25	-4.830	-5.333	0.50	3.338
-0.25	-15.700	-15.679	-0.02	-0.199

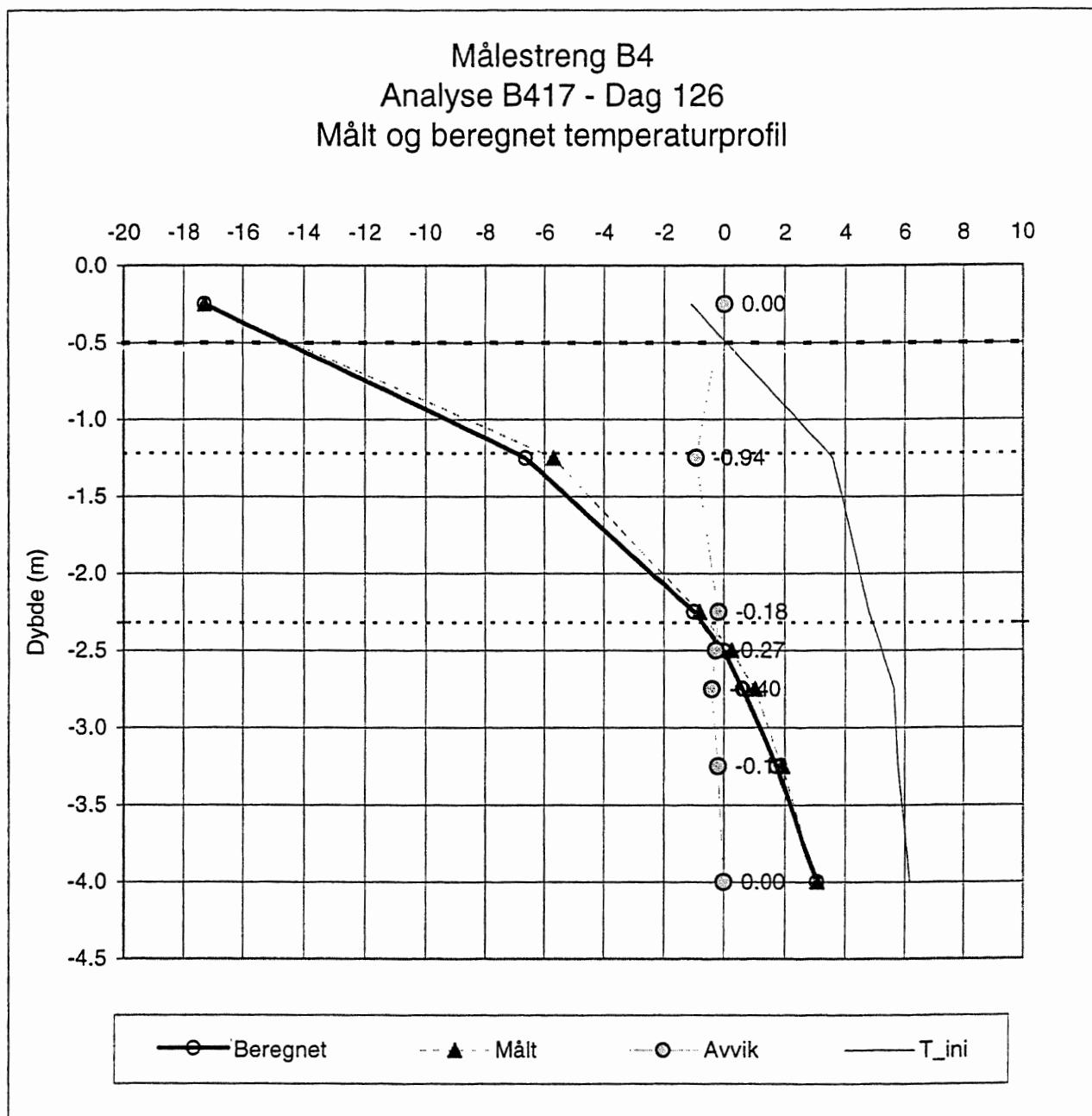
Målestreng B3
Analyse B317 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Målestreng B3
Analyse B317_126
Målt og beregnet temperaturprofil dag 126.

Figur 10
Dato : 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	3.070	3.072	0.00	6.173
-3.25	1.740	1.925	-0.19	5.783
-2.75	0.609	1.008	-0.40	5.637
-2.50	-0.020	0.250	-0.27	5.217
-2.25	-0.996	-0.819	-0.18	4.801
-1.25	-6.640	-5.705	-0.94	3.601
-0.25	-17.300	-17.300	0.00	-1.102

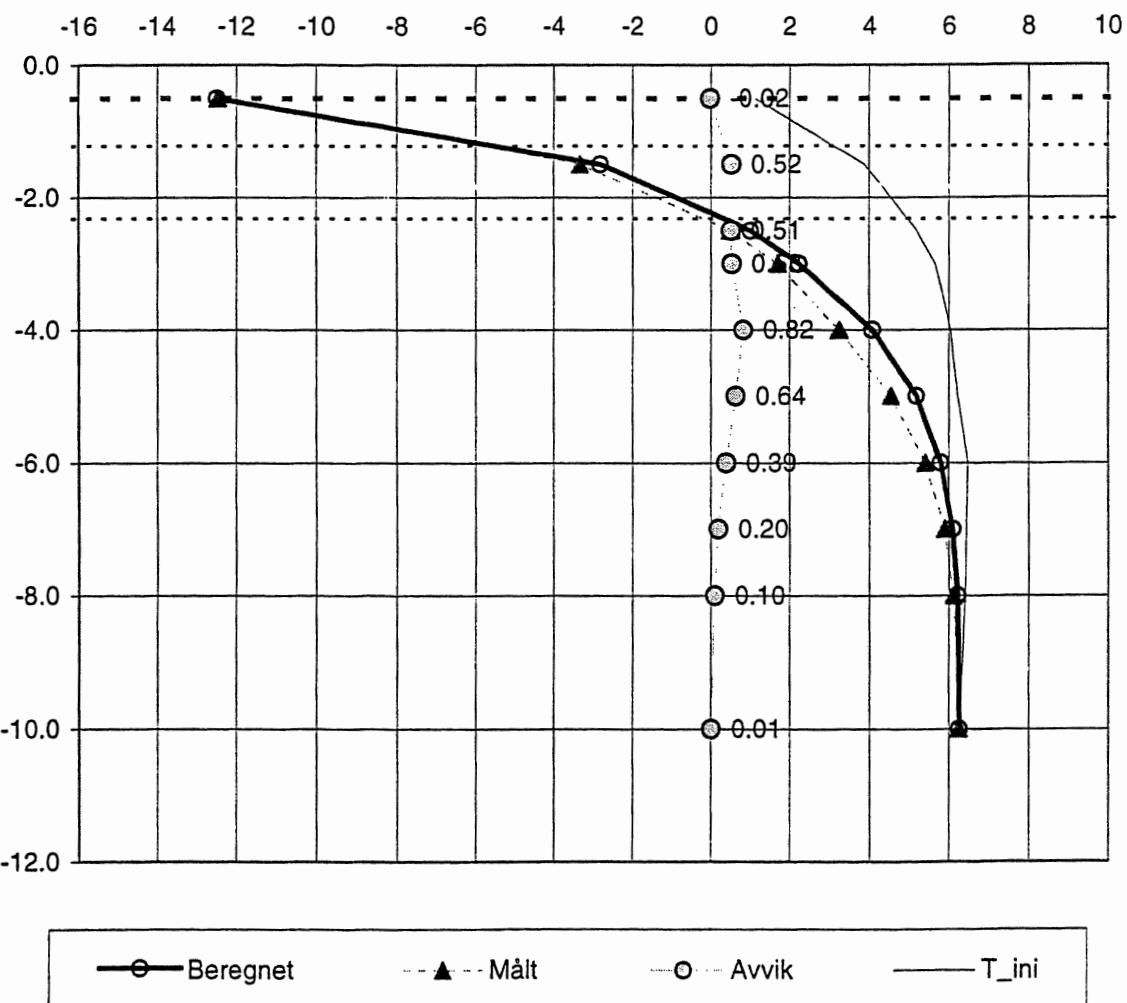


Målestreng B4
Analyse B417-126
Målt og beregnet temperaturprofil dag 126.

Figur 11
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

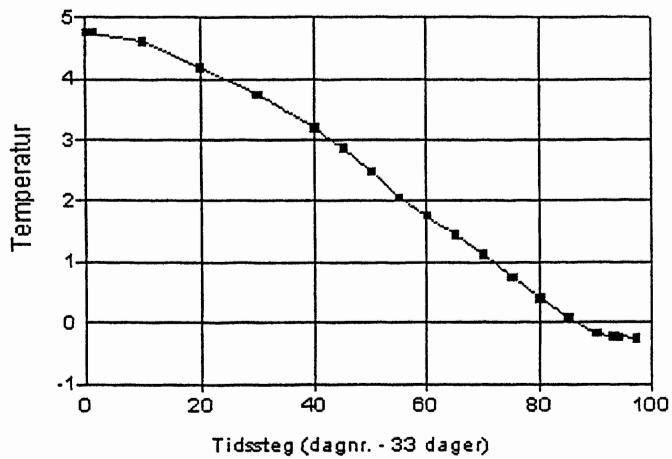
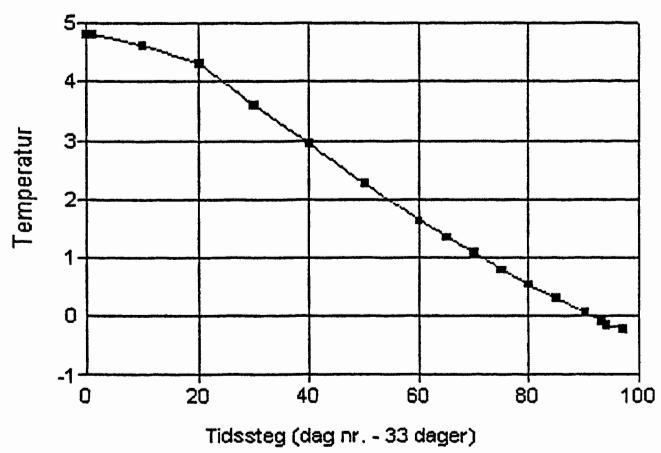
Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.251	0.01	6.260
-8.00	6.220	6.118	0.10	6.422
-7.00	6.090	5.894	0.20	6.447
-6.00	5.790	5.401	0.39	6.481
-5.00	5.170	4.535	0.64	6.228
-4.00	4.060	3.236	0.82	6.045
-3.00	2.230	1.699	0.53	5.655
-2.50	1.010	0.496	0.51	5.181
-1.50	-2.820	-3.337	0.52	3.876
-0.50	-12.500	-12.479	-0.02	1.135

Målestreng B6
Analyse B617 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



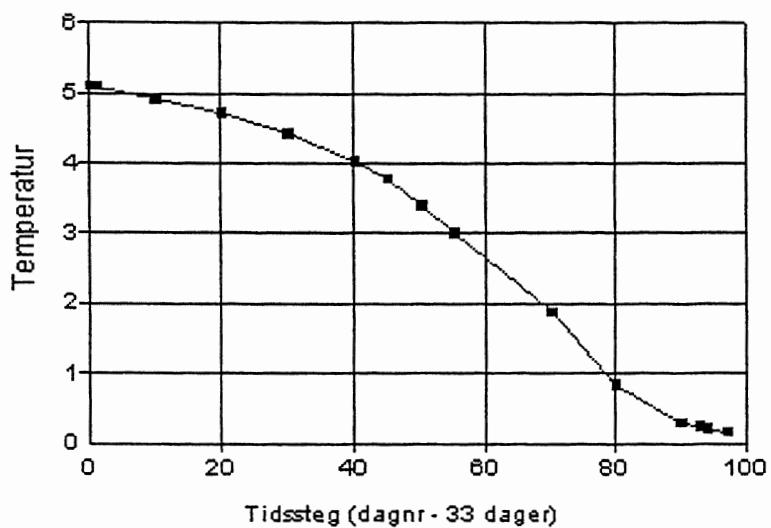
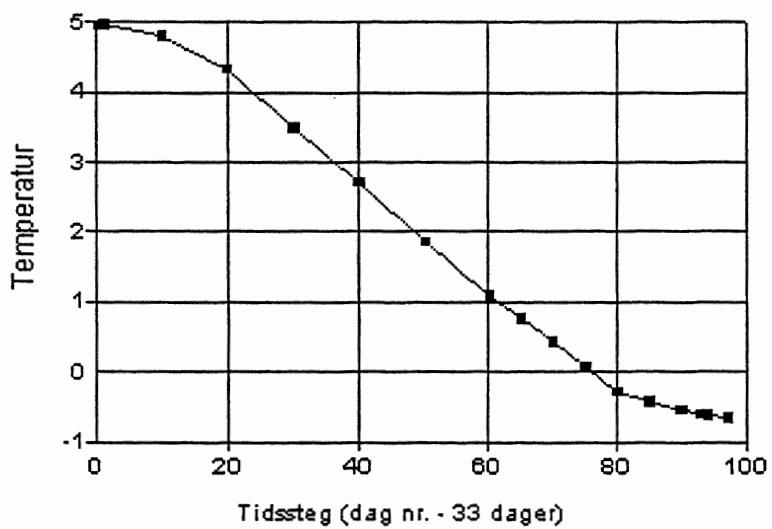
Målestreng B6
Analyse B617_126
Målt og beregnet temperaturprofil.

Figur 12
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

Temperatur i underkant fylling.
C117Temperatur i underkant fylling.
B317

Målestreng C1 og B3
Analyse C117 og B317.
Beregnet temperatur i underkant av fylling.

Figur 13
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

Temperatur i underkant fylling.
C214Temperatur i underkant fylling.
B417

Målestreng C2 og B4
Analyse C214 og B417.
Beregnet temperatur i underkant av fylling.

Figur 14
Dato: 1998-10-20
Prosjekt nr.: 22K038.02

22k038.02

Etterregning av fryseforsøk på Leirsund.

Vedlegg 1: Vanninnholdsmålinger

Norges geotekniske institutt
Journal for bestemmelse av vanninnhold

Brukeren fyller ut de grå feltene, resultater kommer fram som røde felt tall.

#VALUE!

Dato	#####								
Prosjekt nr.	980011								
Glass nr.	1.1A	1.2A	1.3A	1.1B	1.2B	1.3B	2.1.	2.2	2.3
Total vekt, våt (g)	910.10	1042.10	955.80	1042.30	1098.50	1043.10	950.20	1083.50	926.30
Total vekt, tørr (g)	868.60	982.30	796.10	973.90	1034.70	844.70	901.80	1021.10	823.50
Vekt glass (g)	7.20	7.20	40.00	7.20	7.20	40.00	7.20	7.20	7.20
Vekt vann (g)	41.50	59.80	159.70	68.40	63.80	198.40	48.40	62.40	97.80
Vekt tørr prøve (g)	861.40	975.10	756.10	966.70	1027.50	804.70	894.60	1013.90	788.50
Vanninnhold (%)	4.82	6.13	21.12	7.08	6.21	24.66	5.41	6.15	12.40
Ammerkninger	0,6m Ø.F.L.	1,1m Ø.F.L.	1,2m LECA 10-20	0,6m Ø.F.L.	1,1m Ø.F.L.	1,4m Ø.F.L.	0,6m Ø.F.L.	1,1m Ø.F.L.	0,6m Ø.F.L.

Dato	#####								
Prosjekt nr.	980011								
Glass nr.	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4				
Total vekt, våt (g)	1033.20	951.70	974.80	908.40	1068.40				
Total vekt, tørr (g)	983.60	901.50	928.00	863.00	1008.50				
Vekt glass (g)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20				
Vekt vann (g)	49.60	50.20	46.80	45.40	59.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Vekt tørr prøve (g)	976.40	894.30	920.80	855.80	1001.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Vanninnhold (%)	5.08	5.61	5.08	5.30	5.98	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ammerkninger	2,2m N.F.L.	0,6m Ø.F.L.	1,1m Ø.F.L.	1,4m N.F.L.	2,2m N.F.L.				

22k038.02

Etterregning av fryseforsøk på Leirsund.

Vedlegg 2:

Varmeledningsevne til løs Leca

Data fra NBI Rapport:

"Måling av fukt og varmetekniske materialegenskaper til løs lett klinker".

Tabell 10.3a Termisk konduktivitet for tørr og fuktig Leca 0-32, λ , målt i henholdsvis frosset og ufrosset tilstand. Ufrosset, fuktig materiale er korrigert for faseendringer (λ^*) i henhold til kapittel 9.3.

Leca 0-32	Tørr 0-32		Fuktig 0-32	
	Frossen	Ufrossen	Frossen	Ufrossen
Fuktinnhold (vekt%)	0	0	48,2	48,2
Tørr densitet (kg/m ³)	356	356	322	322
Middeltemperatur (°C)	-7,6	10,3	-6,9	10,2
Temperaturdifferanse (°C)	9,82	11,32	9,99	11,17
Målt varmestrøm, q (W/m ²)	6,80	7,77	14,25	14,52
Målt varmekonduktivitet, λ (W/m ²)	0,110	0,109	0,237	0,214
Korrigert varmestrøm, q - q _{sc} (W/m ²)	-	-	-	13,80
Korrigert varmekonduktivitet, λ^* (W/m ²)	-	-	-	0,203

Tabell 10.3b Termisk konduktivitet for fuktig Leca Iso 10-20, λ , målt i henholdsvis frosset og ufrosset tilstand. Ufrosset, fuktig materiale er korrigert for faseendringer (λ^*) i henhold til kapittel 9.3.

Leca Iso 10-20	Fuktig Iso 10-20	
	Frossen	Ufrossen
Fuktinnhold (vekt%)	14,0	14,0
Tørr densitet (kg/m ³)	303	303
Middeltemperatur (°C)	-7,1	9,9
Temperaturdifferanse (°C)	9,21	9,80
Målt varmestrøm, q (W/m ²)	8,16	8,85
Målt varmekonduktivitet, λ (W/m ²)	0,142	0,145
Korrigert varmestrøm, q - q _{sc} (W/m ²)	-	7,92
Korrigert varmekonduktivitet, λ^* (W/m ²)	-	0,129

Tabell 8.3 Termisk konduktivitet (λ_{10}) og densitet for alle tre fraksjoner

	Leca Iso 10-20		Leca 0-32		Leca 4-20	
	Densitet (kg/m ³)	λ_{10} (W/mK)	Densitet (kg/m ³)	λ_{10} (W/mK)	Densitet (kg/m ³)	λ_{10} (W/mK)
Prøve 1	312	0,107	347	0,109	373	0,108
Prøve 2	315	0,108	342	0,106	364	0,109
Prøve 3	302	0,107	334	0,106	365	0,109
Middel	309	0,107	341	0,107	368	0,108

Tabell 9.4a Termisk konduktivitet for Leca Iso 10-20, λ^* , korrigert for faseendringer. Tørr densitet er 309 kg/m³.

Leca Iso 10-20	1	2	3
Fuktinnhold (vekt%)	1,5	12,7	18,0
Temperaturdifferanse (°C)	9,96	9,93	9,92
Målt varmestrøm, q (W/m ²)	7,51	9,29	10,05
Målt varmekonduktivitet, λ (W/m ²)	0,120	0,151	0,164
Korrigert varmestrøm, q - q _{rc} (W/m ²)	6,58	8,36	9,12
Korrigert varmekonduktivitet, λ^* (W/m ²)	0,105	0,135	0,148

Tabell 9.4b Termisk konduktivitet for Leca 0-32, λ^* , korrigert for faseendringer. Tørr densitet er 341 kg/m³.

Leca 0-32	1	2	3
Fuktinnhold (vekt%)	7,1	23,3	59,3
Temperaturdifferanse (°C)	9,85	9,79	9,97
Målt varmestrøm, q (W/m ²)	8,92	10,56	12,94
Målt varmekonduktivitet, λ (W/m ²)	0,146	0,175	0,214
Korrigert varmestrøm, q - q _{rc} (W/m ²)	8,20	9,84	12,22
Korrigert varmekonduktivitet, λ^* (W/m ²)	0,133	0,163	0,201

Tabell 9.4c Termisk konduktivitet for Leca 4-20, λ^* , korrigert for faseendringer. Tørr densitet er 368 kg/m³.

Leca 4-20	1
Fuktinnhold (vekt%)	31,6
Temperaturdifferanse (°C)	9,76
Målt varmestrøm, q (W/m ²)	11,73
Målt varmekonduktivitet, λ (W/m ²)	0,197
Korrigert varmestrøm, q - q _{rc} (W/m ²)	11,04
Korrigert varmekonduktivitet, λ^* (W/m ²)	0,184

22k038.02

Etterregning av fryseforsøk på Leirsund.

Vedlegg 3: Analyserapporter

Serie X11.

Tabell 1A Materialdata for analyseserien X11.

For profil ved målestreng B3, B4 og B6, med nedre forsterkningslag av 1100 mm spengstein i stedet for 400 mm Leca, er data for nedre forsterkningslag satt lik data for øvre forsterkningslag.

Material	Lag tykkelse mm	Tørr densitet kN/m ³	Vann innhold.		Varmeledningsevne W/mK				Volumetrisk varme kapasitet.	
			vekt %.	vol %	-20 °C	-0 °C	+0°C	20 °C	kJ/m ³ K	
Ballast pukk	500	1800	2	3.6	1.00		1.00		1330	1410
Ø. Forsterkn. l.	720	2050	1.2	2.5	0.95		0.95		1749	1803
Leca 10 - 20	400	300	24.0	7.2	0.16	0.17	0.14	0.19	354	512
Undergrunn	-	1600	20.9	33.4	2.13		1.24		1789	2524

Tabell 1B Kommentarer til resultatene fra analyseserie X11

Tallene i parentes i kommentar kolonnen er avvik mellom beregnet og målt temperatur, T_b-T_m , ved forsøksslutt dag 126.

Målestreng	Kommentarer til resultatene fra analyseserie X11	Frostdyp, dag 130 Målt/beregnet (m)	Beregnet gj.frysing Dag nr.
C1	For kaldt i øvre forsterkningslag (-1.11°C) og Leca (-1.52°C). For kaldt (-20°C) i uk fylling.	1.77/1.86	99
C2	Litt varmt øvre forsterkningslag (.21°C). Litt kaldt i Leca (-.50°C). Litt for varmt i undergrunn, (-.37°C) i uk fylling. Simulert ~ målt.	1.61/1.607	-
B3	For kaldt i spengstein (-2.07°C). For kaldt (-.36°C) i uk fylling.	2.43/2.559	105
B4	For kaldt i spengstein (-3.70°C). For kaldt (-.70°C) i uk fylling	2.42/2.663	94
B6	For kaldt i spengstein (-1.27°C). For kaldt (-.25°C) i uk fylling	-2.365//2.45	116

Denne kombinasjonen av materialparametere gir en relativt god etterregning av målestreng C2, bortsett fra noe for høy temperatur (0.58°C) i undergrunn.

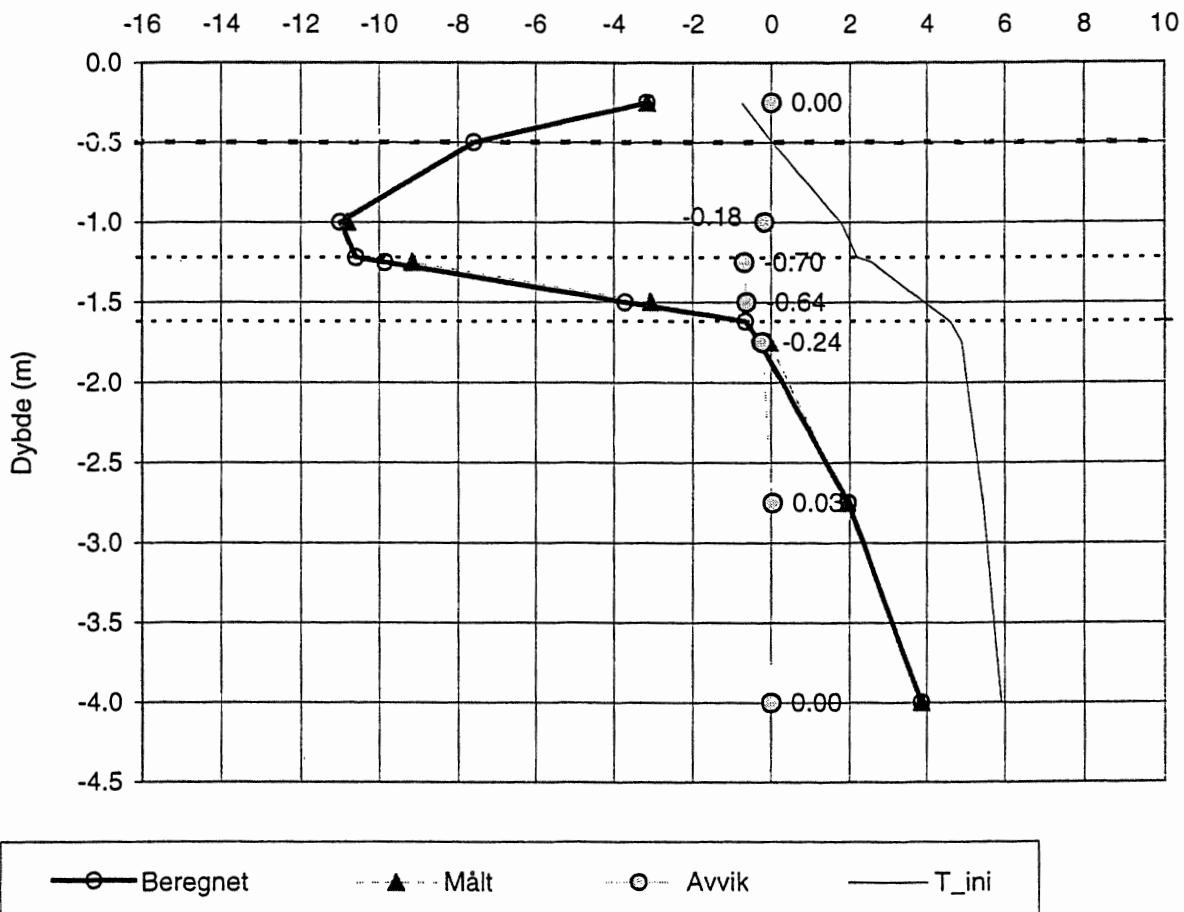
For målestreng C1, B3, B4 og B6 gir etterregningen (i varierende grad) for lav temperatur i fyllingen. For målestreng C1, B3, B4 og B6 gir etterregningen for stor frostdybde.

For hver målestreng er det vedlagt 3 resultatark:

- Beregnet og målt temperaturprofil for dag 126 (siste forsøksdag)
- Beregnet og målt temperaturprofil dag 130
- Temperatur som funksjon av tid for grense mellom fylling og undergrunn

Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34	Målt frost- nedtrengning: -1.77
-4.00	3.870	3.869	0.00	5.914	Beregnet frost- nedtrengning: -1.86
-2.75	1.960	1.933	0.03	5.441	Beregn. Gj.frysing: t-steg: 66
-1.75	-0.296	-0.058	-0.24	4.905	Dag 99
-1.62	-0.670			4.600	
-1.50	-3.720	-3.081	-0.64	3.939	
-1.25	-9.860	-9.164	-0.70	2.574	
-1.22	-10.600			2.200	
-1.00	-11.000	-10.821	-0.18	1.767	
-0.50	-7.590			0.022	
-0.25	-3.170	-3.171	0.00	-0.763	

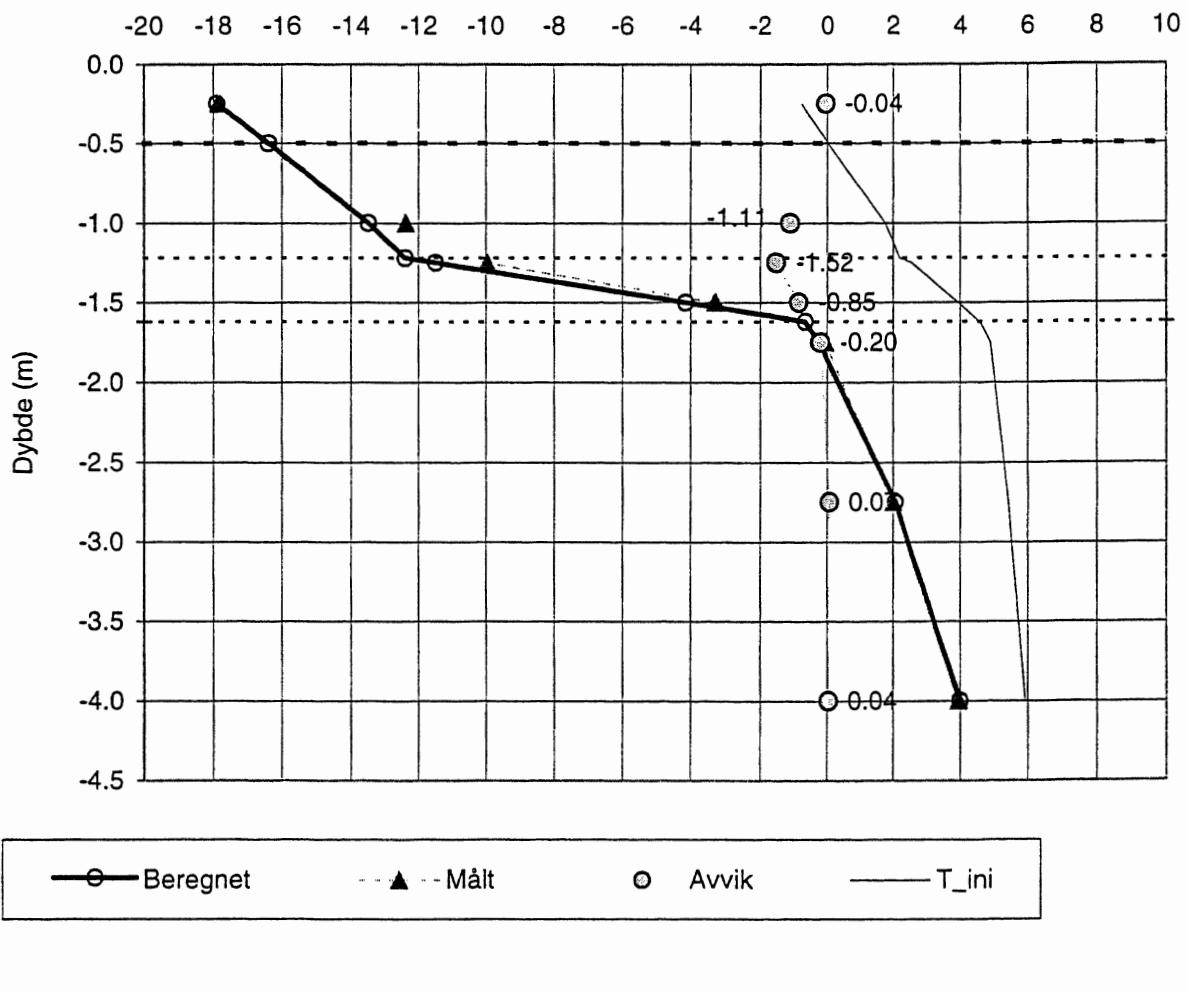
Målestreng C1
Analyse C111 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil



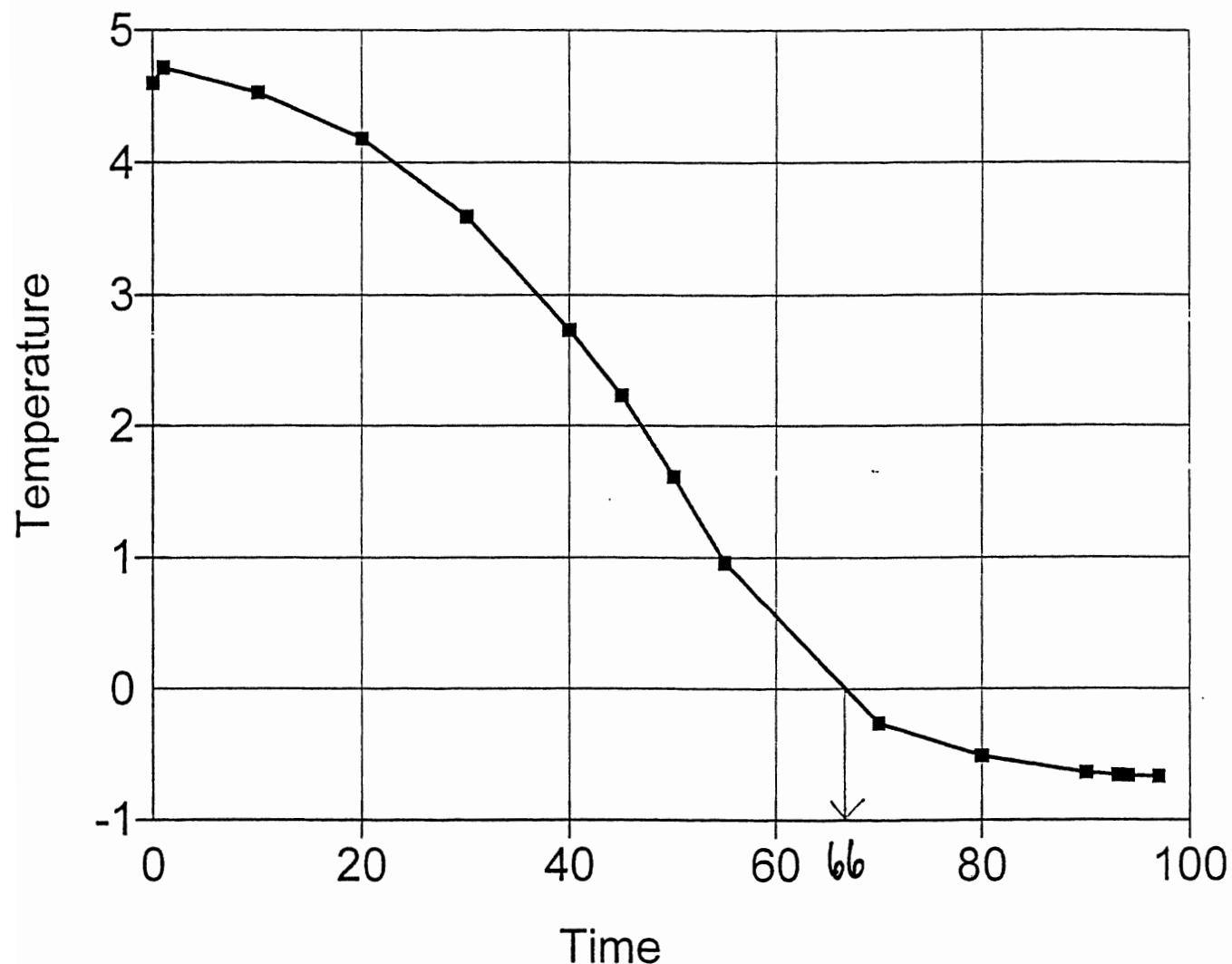
Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.000	3.963	0.04	5.914
-2.75	2.070	2.000	0.07	5.441
-1.75	-0.253	-0.054	-0.20	4.905
-1.62	-0.659			4.600
-1.50	-4.140	-3.287	-0.85	3.939
-1.25	-11.500	-9.977	-1.52	2.574
-1.22	-12.400			2.200
-1.00	-13.500	-12.391	-1.11	1.767
-0.50	-16.400			0.022
-0.25	-17.900	-17.859	-0.04	-0.763

Målestreng C1
Analyse C111 - Dag 126

Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time C111

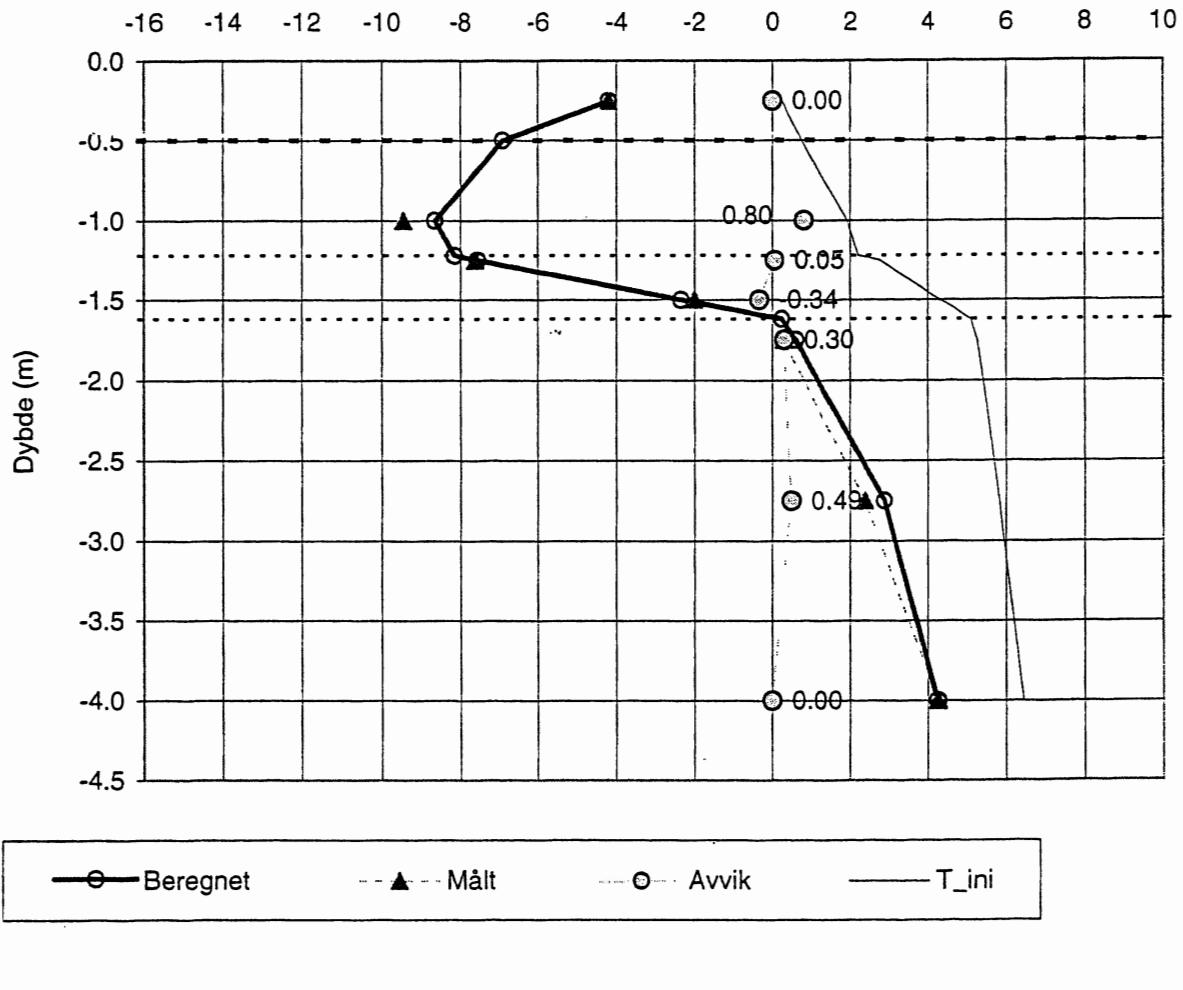


Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.25	4.253	0.00	6.430
-2.75	2.87	2.379	0.49	5.830
-1.75	0.591	0.289	0.30	5.254
-1.62	0.237			5.100
-1.50	-2.35	-2.007	-0.34	4.305
-1.25	-7.57	-7.625	0.05	2.758
-1.22	-8.16			2.200
-1.00	-8.66	-9.463	0.80	1.918
-0.50	-6.91			0.741
-0.25	-4.2	-4.202	0.00	0.258

Målt frost-
nedtrengning:
1.61 m

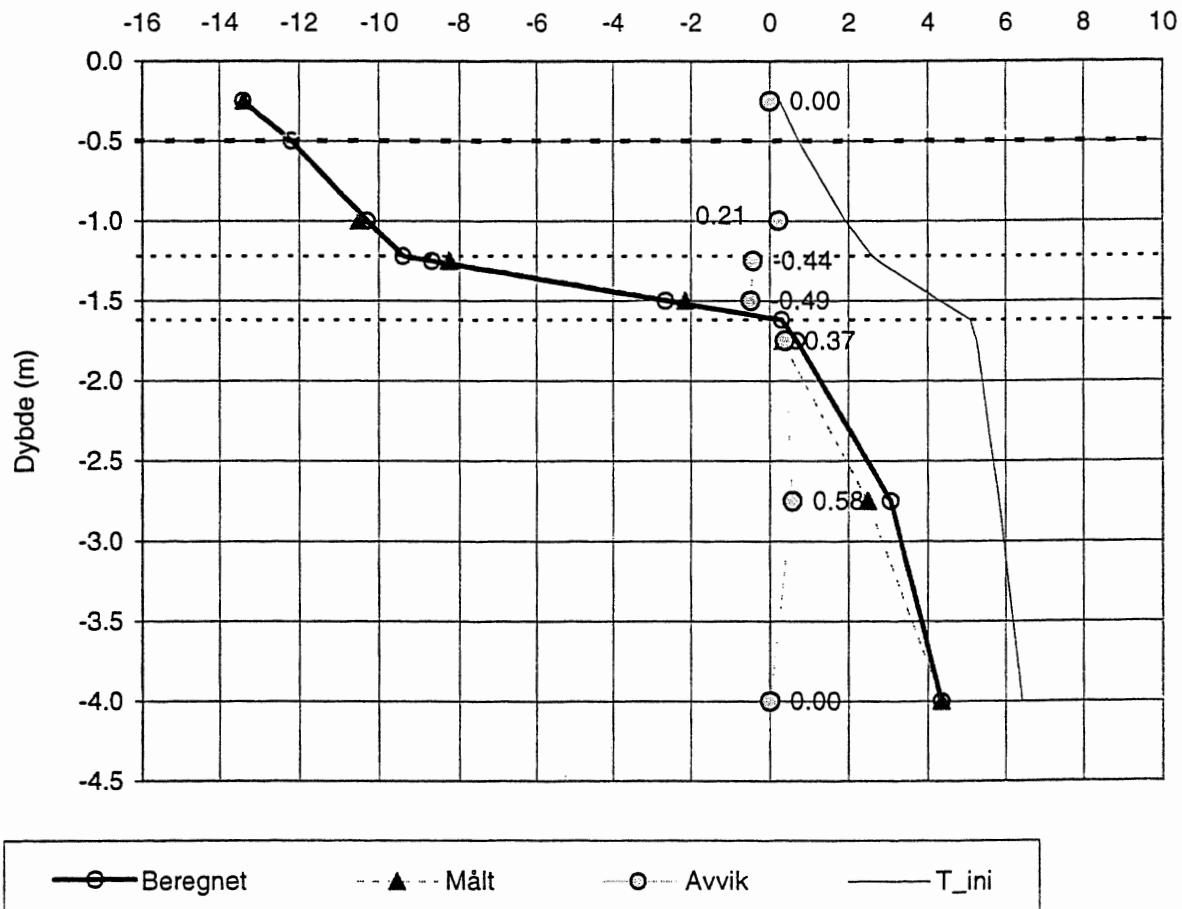
Beregnet frost-
nedtrengning:
1.607

Målestreng C2
Analyse C211 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

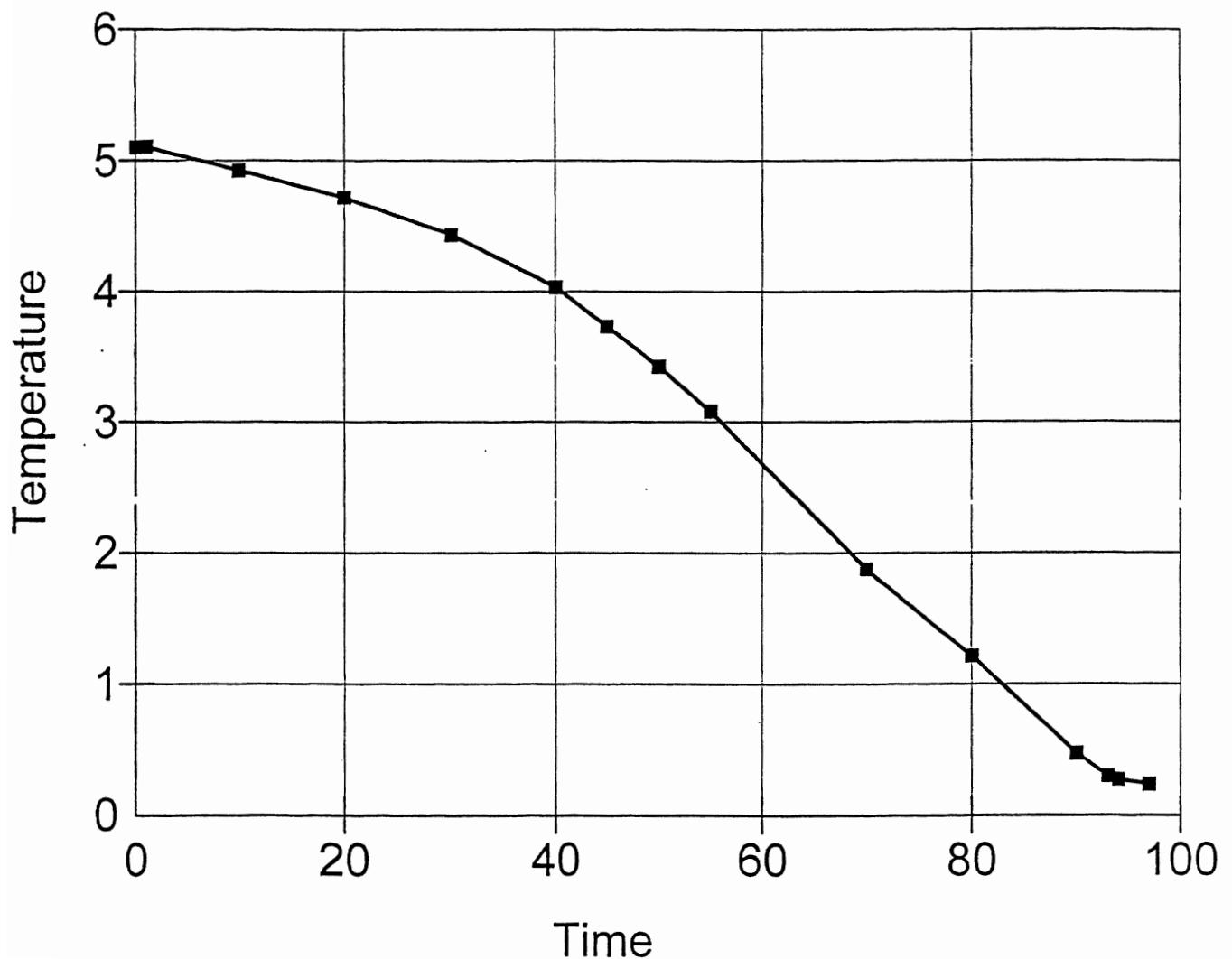


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.350	4.347	0.00	6.430
-2.75	3.060	2.482	0.58	5.830
-1.75	0.694	0.321	0.37	5.254
-1.62	0.298			5.100
-1.50	-2.650	-2.156	-0.49	4.305
-1.25	-8.690	-8.253	-0.44	2.758
-1.22	-9.410			2.600
-1.00	-10.300	-10.513	0.21	1.918
-0.50	-12.200			0.741
-0.25	-13.410	-13.406	0.00	0.258

Målestreng C2
Analyse C211 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil

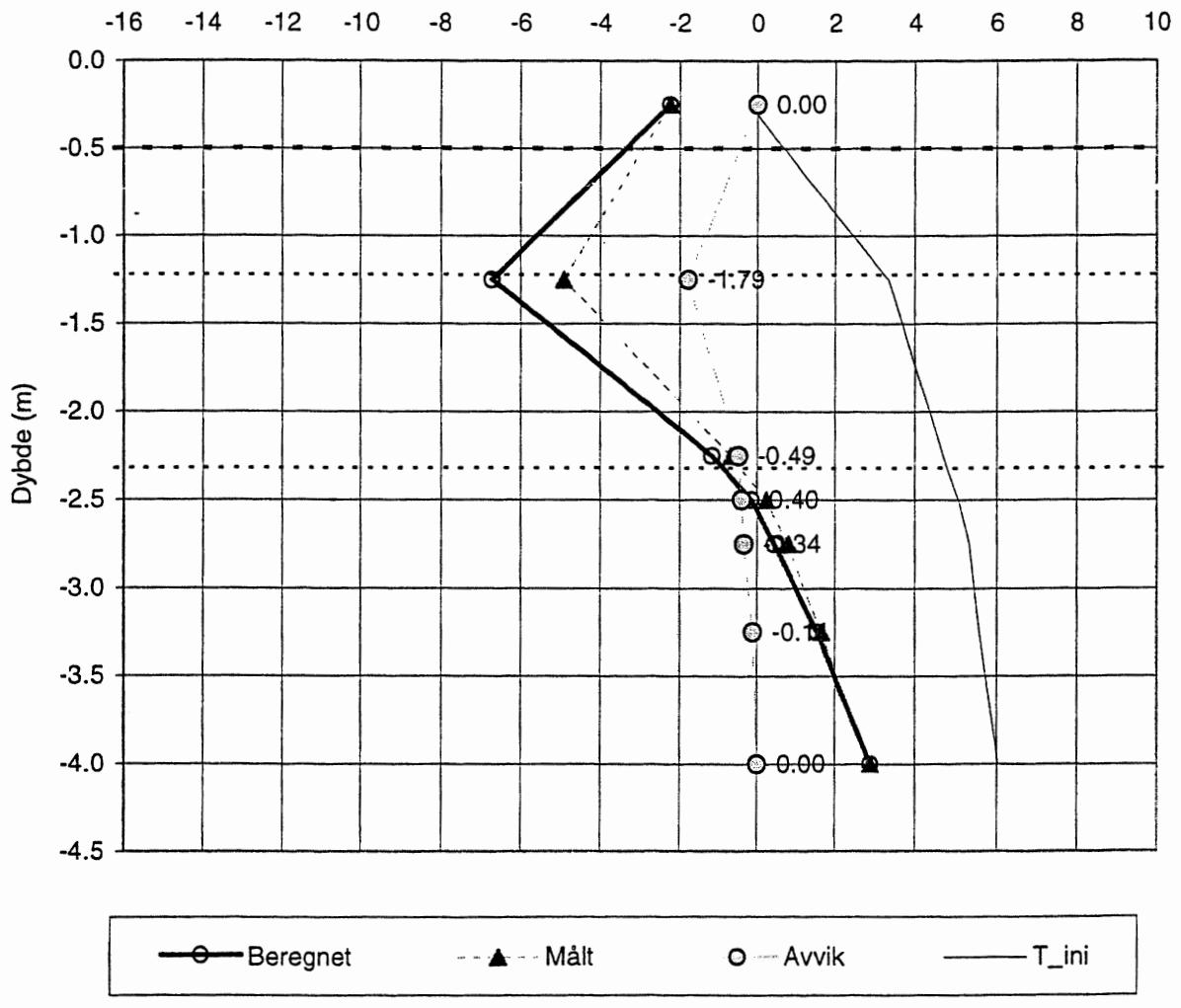


Temperature vs. Time c211



Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34	Målt frost- nedtrengning: -2.43
-4.00	2.880	2.876	0.00	6.034	Beregnet frost- nedtrengning: -2.559
-3.25	1.530	1.642	-0.11	5.579	Beregn. Gj.frysing: T-steg : 72
-2.75	0.447	0.787	-0.34	5.319	Dag 105
-2.50	-0.153	0.244	-0.40	5.063	
-2.25	-1.180	-0.693	-0.49	4.690	
-1.25	-6.720	-4.926	-1.79	3.338	
-0.25	-2.250	-2.250	0.00	-0.199	

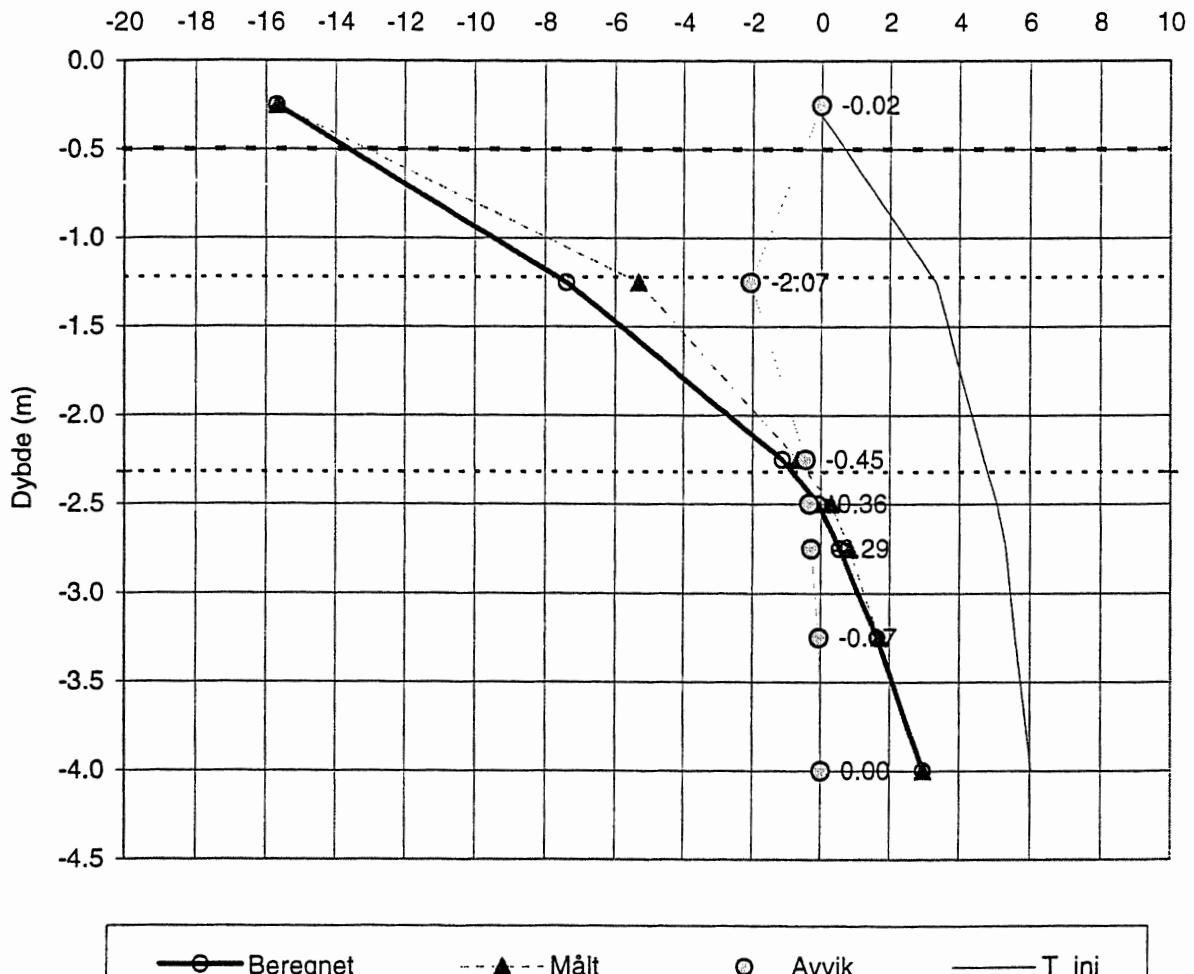
Målestreng B3
Analyse B311 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil



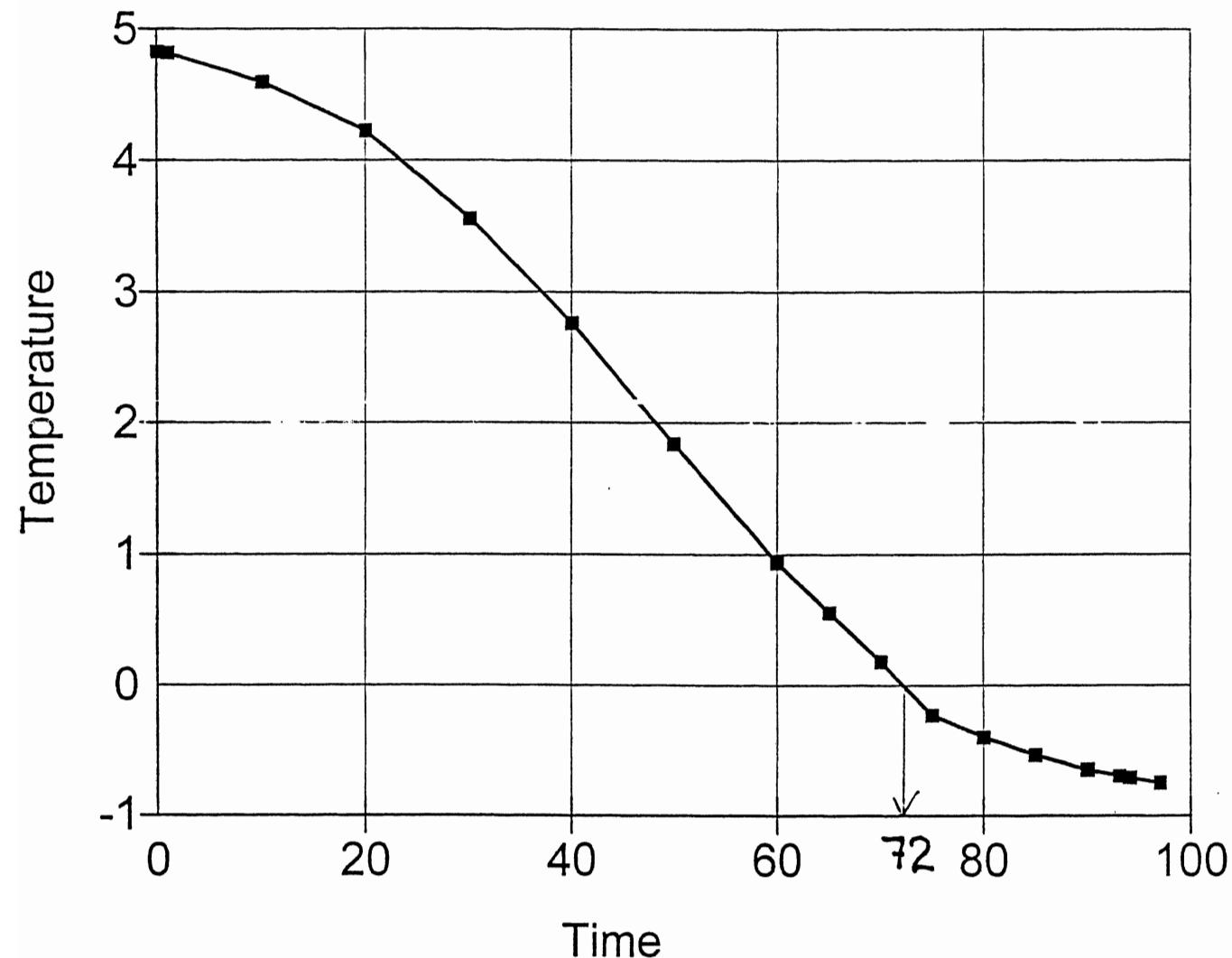
Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.960	2.963	0.00	6.034
-3.25	1.630	1.698	-0.07	5.579
-2.75	0.528	0.821	-0.29	5.319
-2.50	-0.085	0.276	-0.36	5.063
-2.25	-1.140	-0.686	-0.45	4.690
-1.25	-7.400	-5.333	-2.07	3.338
-0.25	-15.700	-15.679	-0.02	-0.199

Korrigert

Målestreng B3
Analyse B311 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time - B311



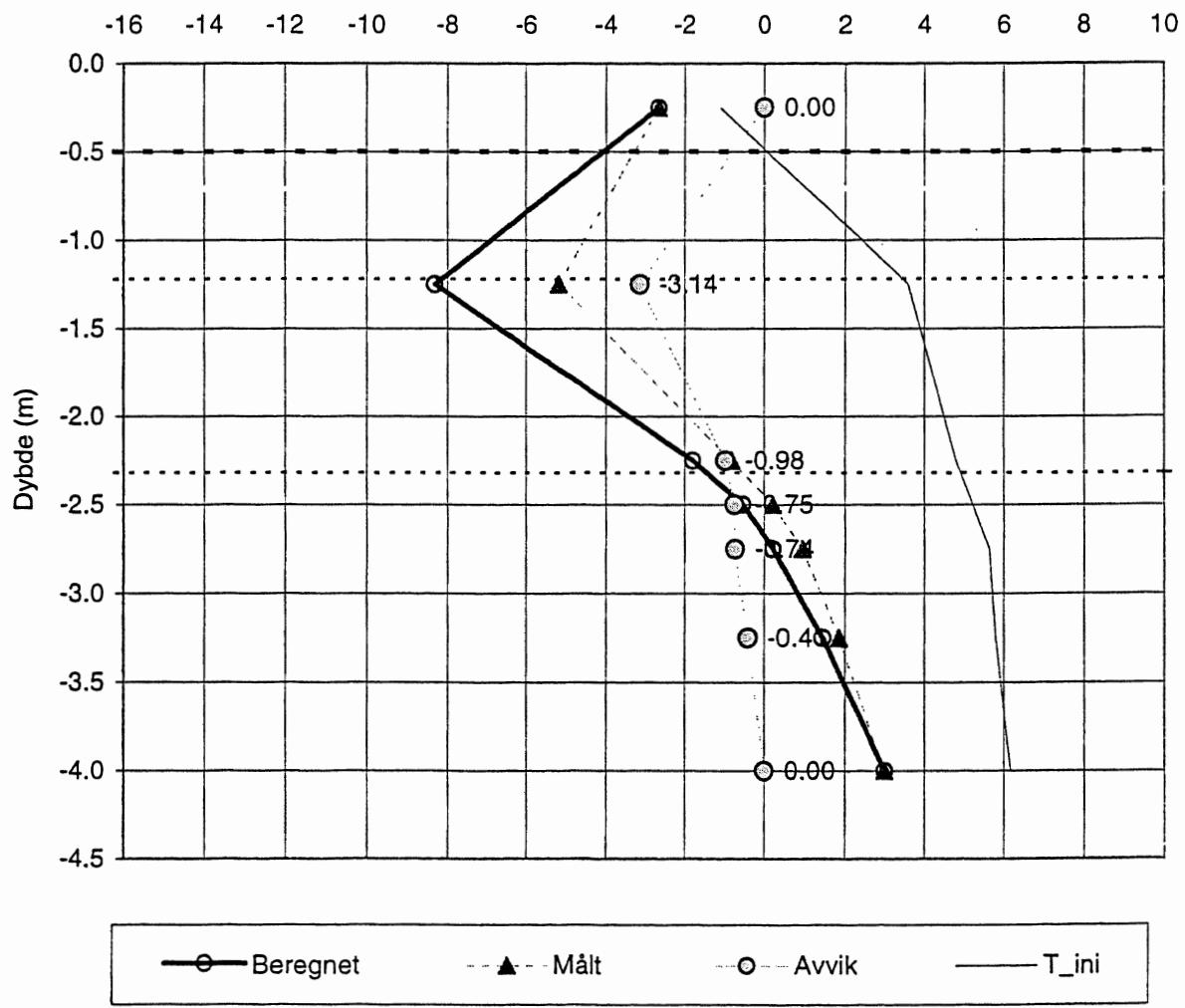
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.990	2.989	0.00	6.173
-3.25	1.440	1.853	-0.41	5.783
-2.75	0.227	0.963	-0.74	5.637
-2.50	-0.537	0.216	-0.75	5.217
-2.25	-1.800	-0.82	-0.98	4.801
-1.25	-8.320	-5.176	-3.14	3.601
-0.25	-2.660	-2.656	0.00	-1.102

Målt frost-
nedtrengning:
-2.42

Beregnet frost-
nedtrengning:
-2.615

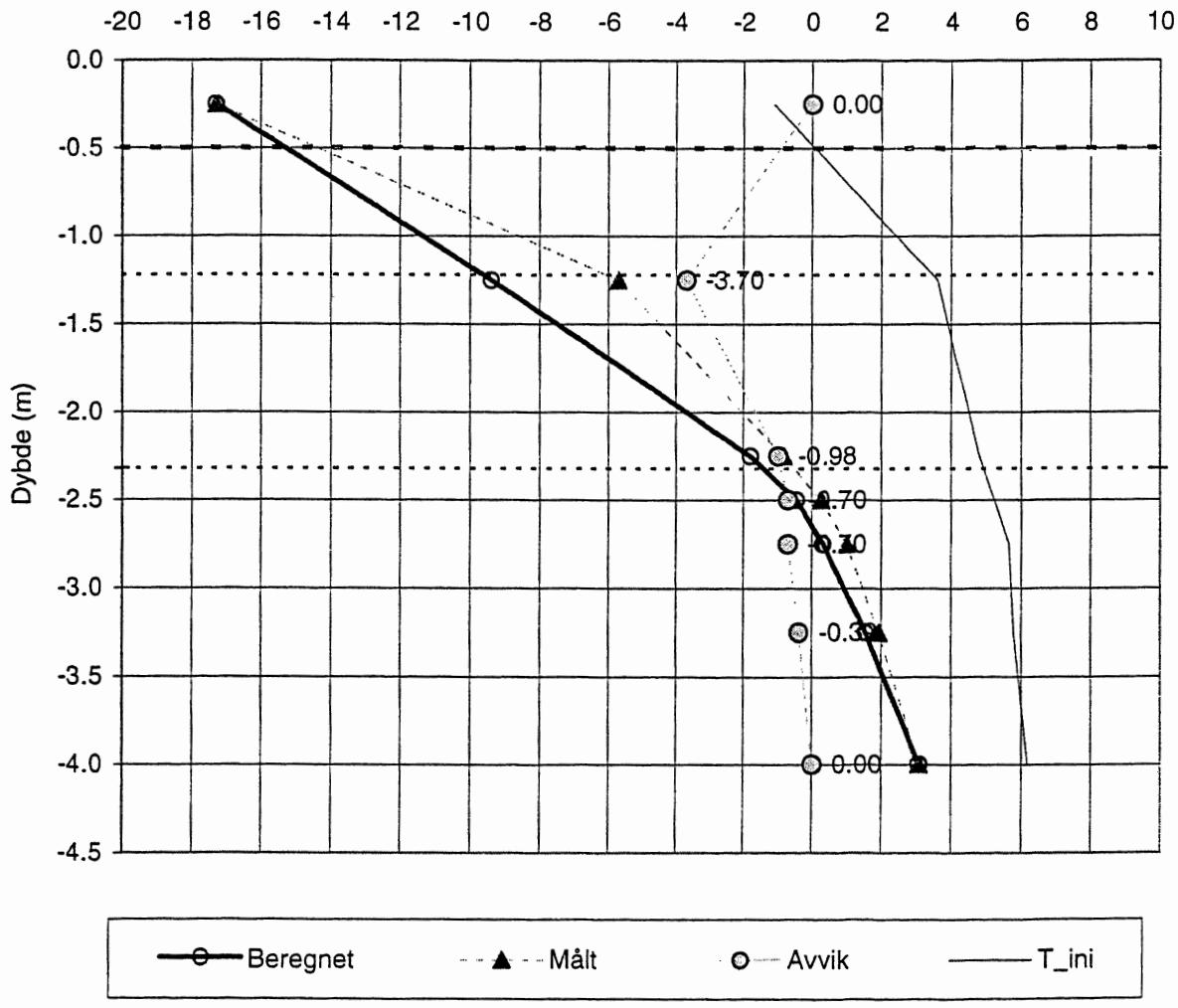
Beregn. Gj.frysing:
T-steg: 61
Dag: 94

Målestreng B4
Analyse B411 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

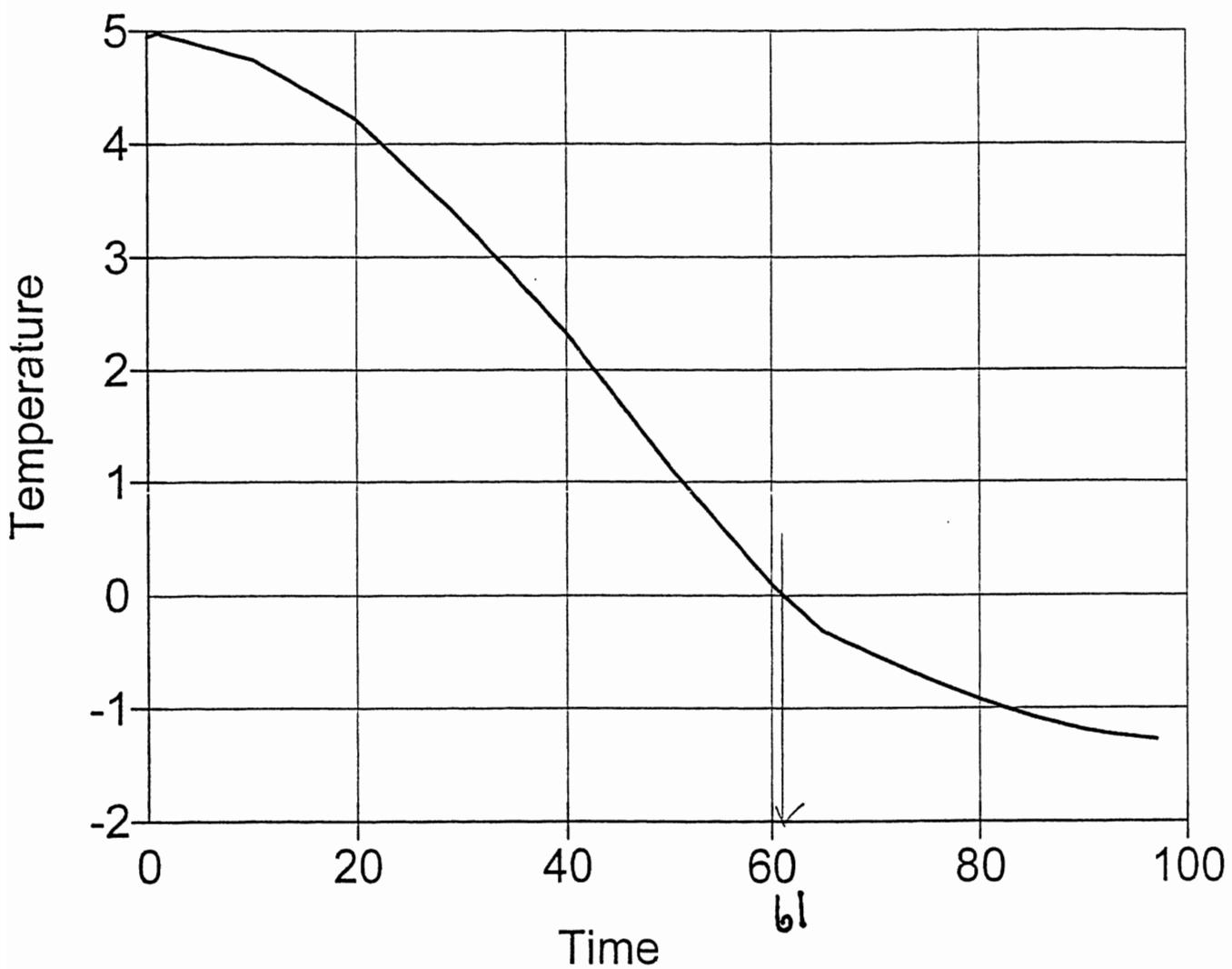


Dybde m	Beregnet dag 1 26	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	3.070	3.072	0.00	6.173
-3.25	1.540	1.925	-0.39	5.783
-2.75	0.308	1.008	-0.70	5.637
-2.50	-0.454	0.250	-0.70	5.217
-2.25	-1.800	-0.819	-0.98	4.801
-1.25	-9.400	-5.705	-3.70	3.601
-0.25	-17.300	-17.300	0.00	-1.102

Målestreng B4
Analyse B411 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time - B411



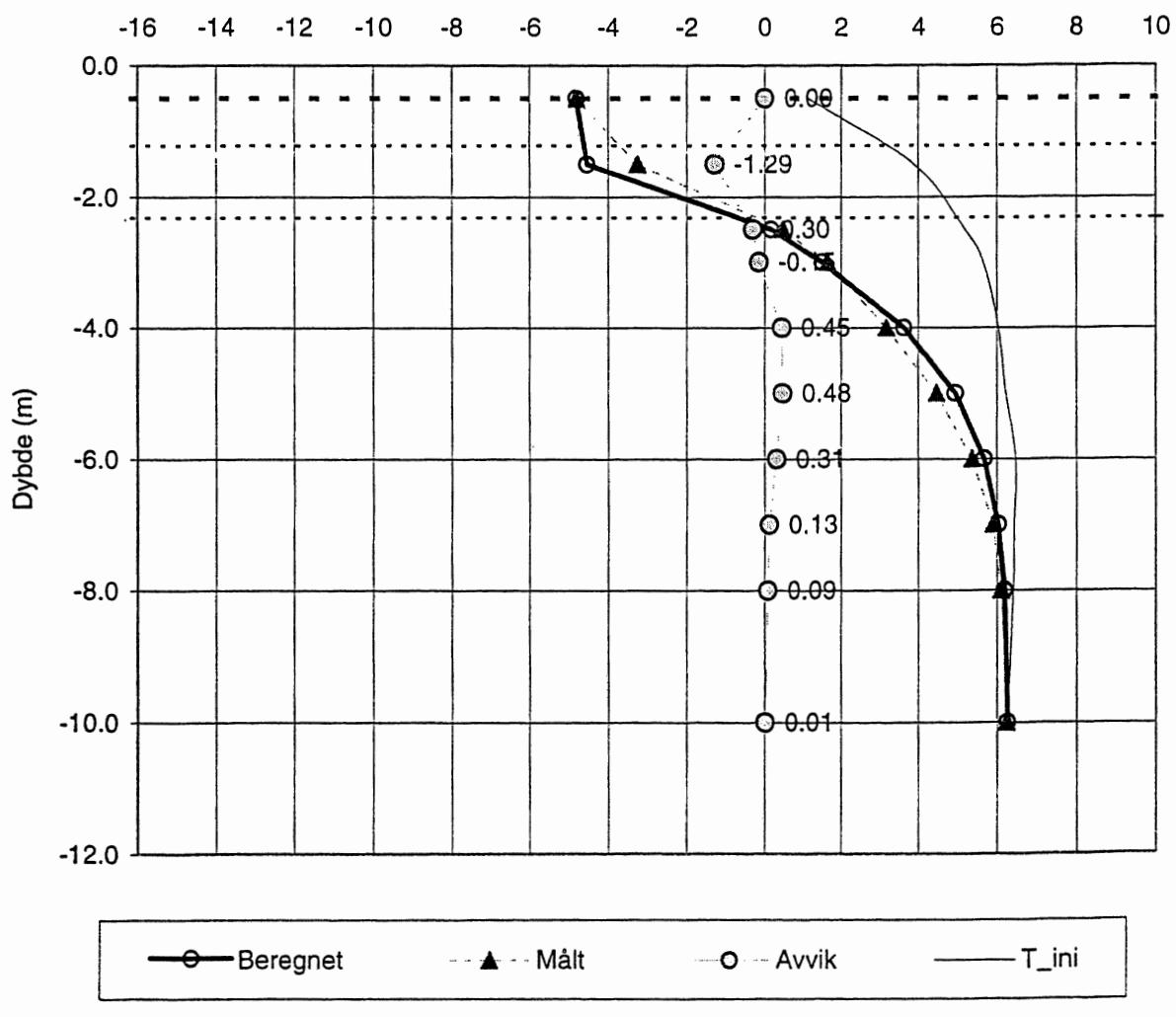
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.245	0.01	6.260
-8.00	6.190	6.102	0.09	6.422
-7.00	6.030	5.9	0.13	6.447
-6.00	5.670	5.357	0.31	6.481
-5.00	4.930	4.454	0.48	6.228
-4.00	3.610	3.158	0.45	6.045
-3.00	1.500	1.650	-0.15	5.655
-2.50	0.168	0.472	-0.30	5.181
-1.50	-4.550	-3.263	-1.29	3.876
-0.50	-4.830	-4.830	0.00	1.135

Målt frost-
nedtrengning:
-2.365

Beregnet frost-
nedtrengning:
-2.45

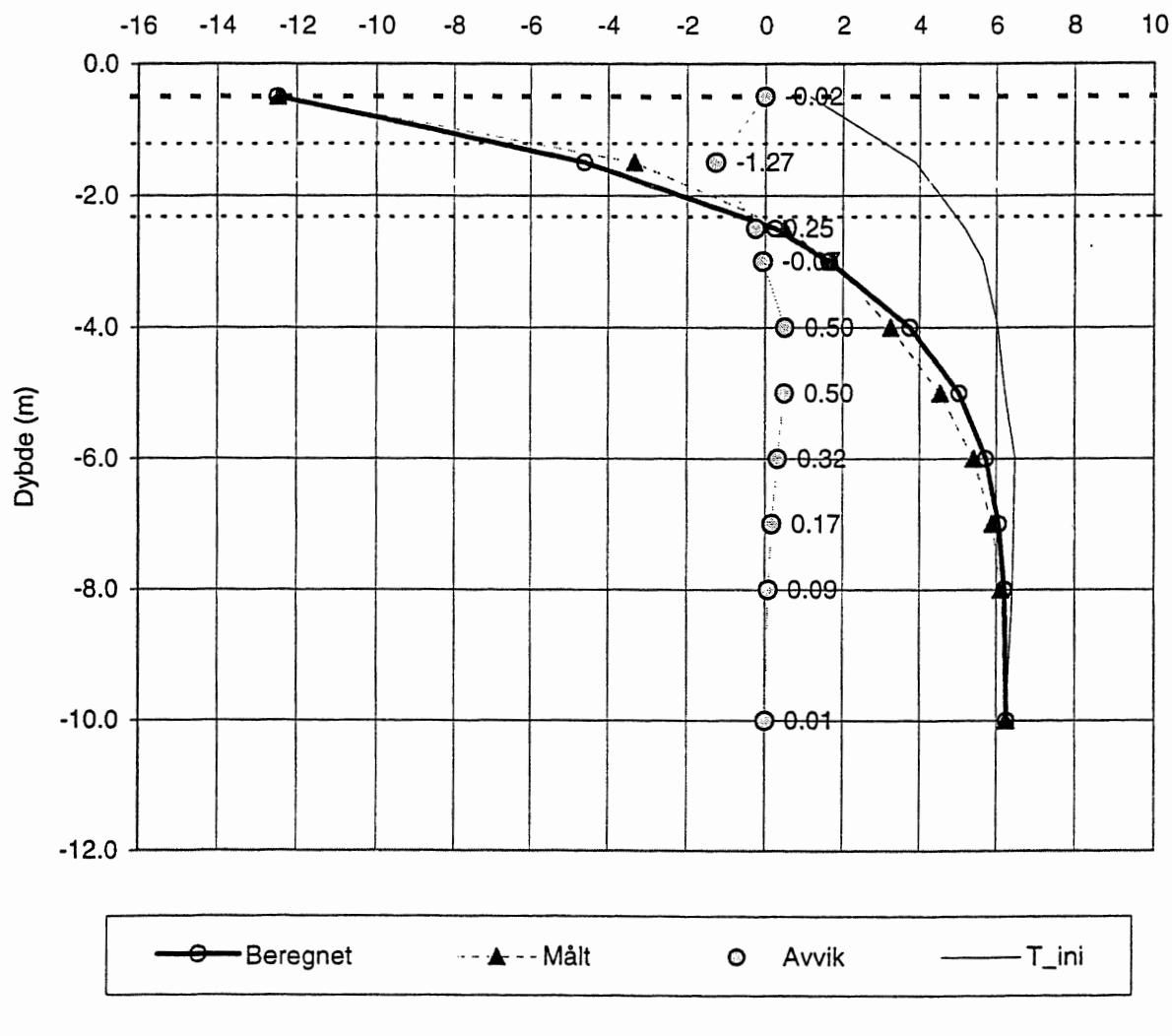
Bereg. Gj.frysing:
T-steg 83
Dag 116

Målestreng B6 Analyse B611 - Dag 130 Målt og beregnet temperaturprofil

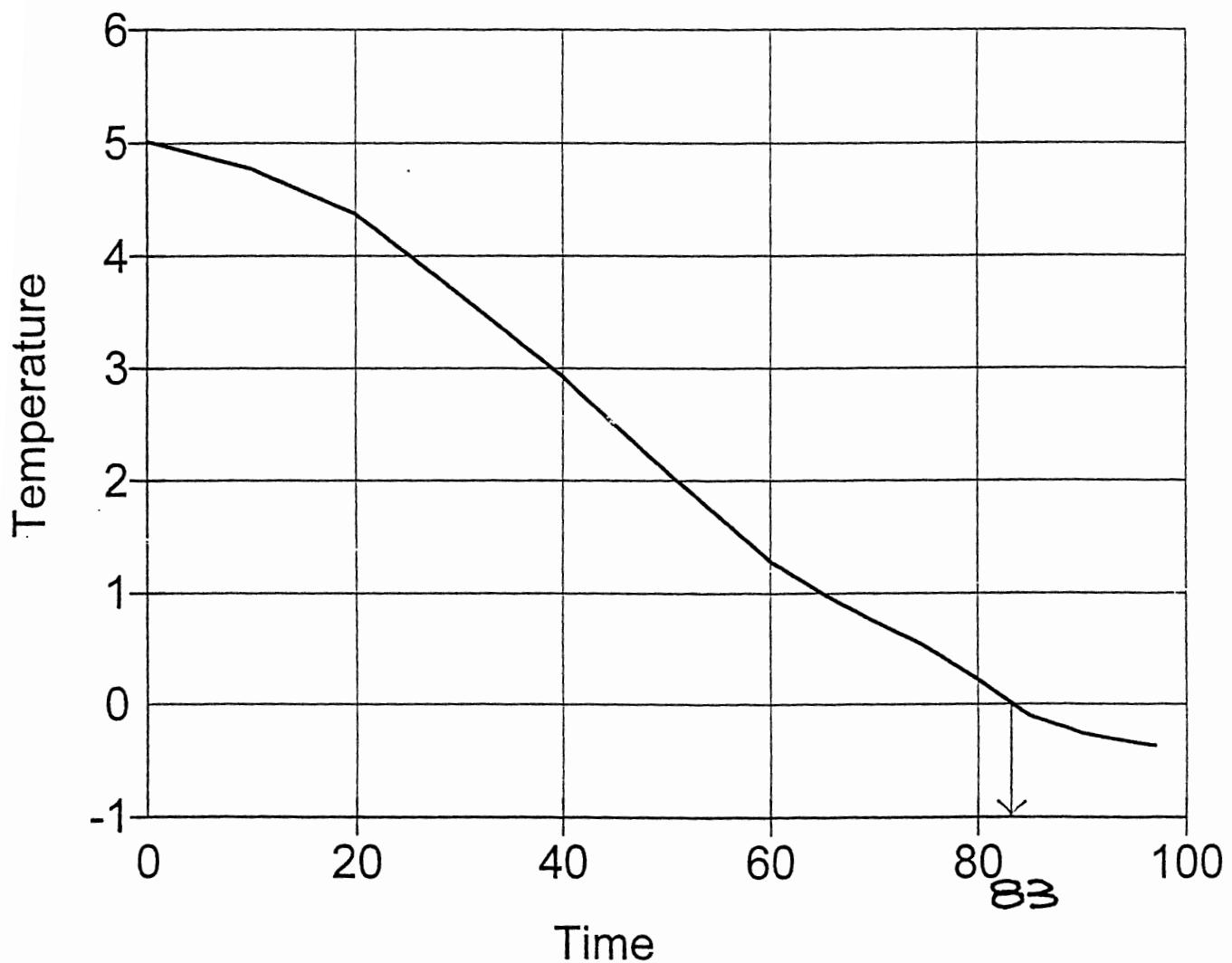


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.251	0.01	6.260
-8.00	6.210	6.118	0.09	6.422
-7.00	6.060	5.894	0.17	6.447
-6.00	5.720	5.401	0.32	6.481
-5.00	5.030	4.535	0.50	6.228
-4.00	3.740	3.236	0.50	6.045
-3.00	1.630	1.699	-0.07	5.655
-2.50	0.245	0.496	-0.25	5.181
-1.50	-4.610	-3.337	-1.27	3.876
-0.50	-12.500	-12.479	-0.02	1.135

Målestreng B6
Analyse B611 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time. B611



Serie X14

Tabell 2A Materialdata for analyseserien X14.

For profil ved målestreng B3, B4 og B6, med nedre forsterkningslag av 1100 mm spengstein i stedet for 400 mm Leca, er data for nedre forsterkningslag satt lik data for øvre forsterkningslag.

Materiale	Lag tykkelse mm	Tørr densitet kN/m ³	Vann innhold.		Varmeledningsevne W/mK				Volumetrisk varme kapasitet.	
			vekt %.	vol %	-20 °C	-0 °C	+0°C	20 °C	kJ/m3K	
Ballast pukk	500	1800	2	3.6	1.00		1.00		1330	1410
Ø. Forsterkn. l.	720	2050	1.2	2.5	0.90		0.90		1749	1803
Leca 10 - 20	400	300	24.0	7.2	0.18	0.19	0.16	0.21	354	512
Undergrunn	-	1700	20.9	33.4	2.40		1.40		1901	2882

Tabell 2B Kommentarer til resultatene fra analyseserie X14

Tallene i parentes i kommentarkolonnen er avvik mellom beregnet og målt temperatur, T_b-T_m , ved forsøksslutt dag 126.

Målestreng	Kommentarer til resultatene fra analyseserie X14	Frostdyp, dag 130 Målt/beregnet (m)	Beregnet. gj.frysing Dag nr.
C1	For kaldt i øvre forsterkningslag (-0.81°C) og Leca (-1.12°C). For varmt (0.33°C) i uk fylling.	1.77/1.85	100
C2	Litt varmt øvre forsterkningslag (.41°C). Litt kaldt i Leca (-.42°C). Litt for varmt i undergrunn, (-.30°C) i uk fylling. Simulert ~ målt.	1.61/1.613	130
B3	For kaldt i spengstein (-1.96°C). For kaldt (-.22°C) i uk fylling.	2.43/2.507	107
B4	For kaldt i spengstein (-3.63°C). For kaldt (-.51°C) i uk fylling	2.42/2.615	100
B6	For kaldt i spengstein (-1.03°C). For kaldt (-.05°C) i uk fylling	2.365/2.322	130

Denne kombinasjonen av materialparametere gir en relativt god etterregning av målestreng C2, bortsett fra noe for høy temperatur i undergrunn.

For målestreng C1, B3, B4 og B6 gir etterregningen også for lave temperaturer i fyllingen. avviket er noe mindre enn for analyseserie X11. For målestreng C1, B3 og B4 gir etterregningen for stor gjennomfrysing. For målestreng B6 er fyllingen for kald mens beregnet frostdyp er for lite.

For hver målestreng er det vedlagt 3 resultatark:

- Beregnet og målt temperaturprofil for dag 126 (siste forsøksdag)
- Beregnet og målt temperaturprofil dag 130
- Temperatur som funksjon av tid for grense mellom fylling og undergrunn

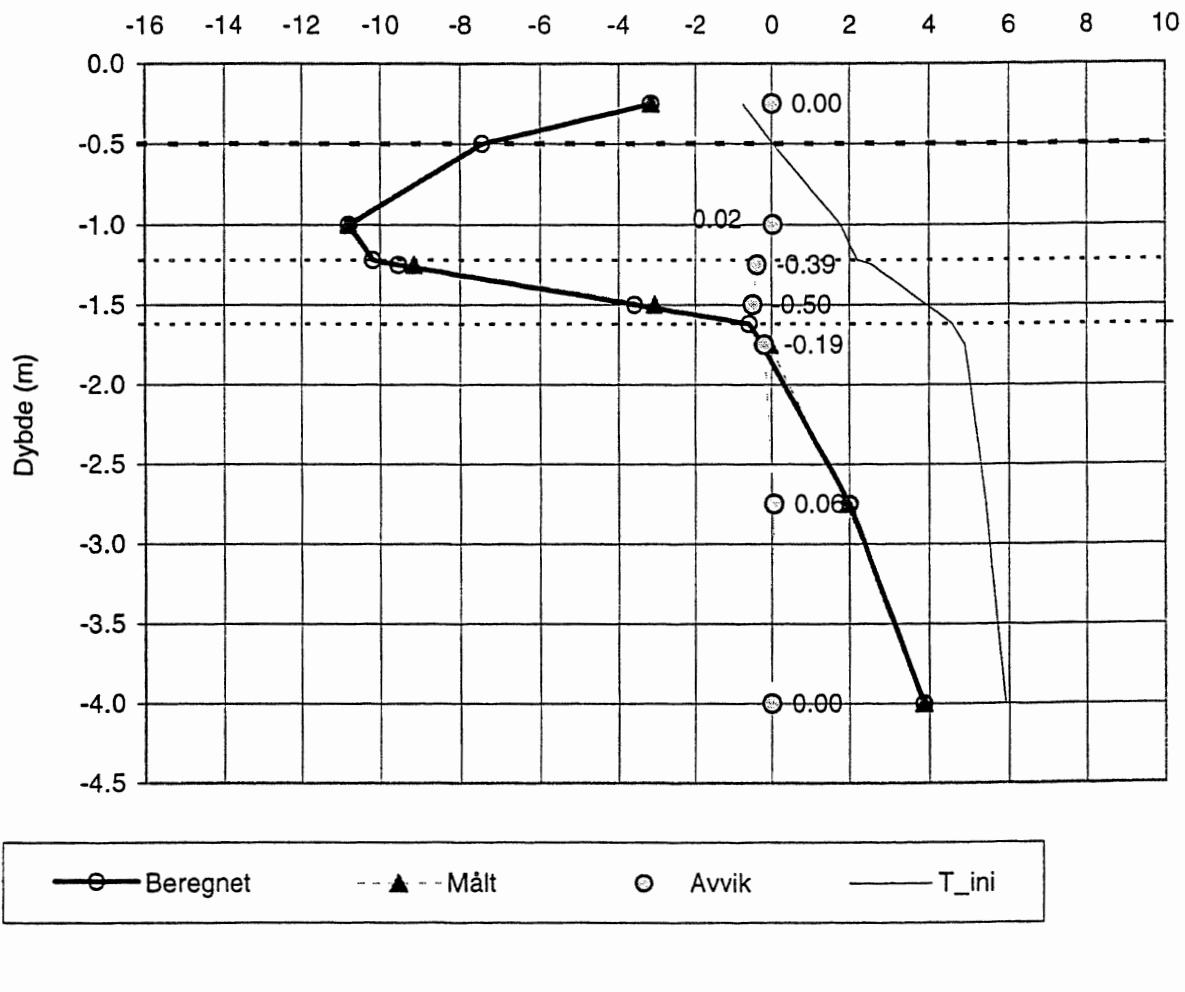
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	3.870	3.869	0.00	5.914
-2.75	1.990	1.933	0.06	5.441
-1.75	-0.252	-0.058	-0.19	4.905
-1.62	-0.601			4.600
-1.50	-3.580	-3.081	-0.50	3.939
-1.25	-9.550	-9.164	-0.39	2.574
-1.22	-10.200			2.200
-1.00	-10.800	-10.821	0.02	1.767
-0.50	-7.450			0.022
-0.25	-3.170	-3.171	0.00	-0.763

Målt frost-
nedtrengning:
-1.77

Beregnet frost-
nedtrengning:
-1.85

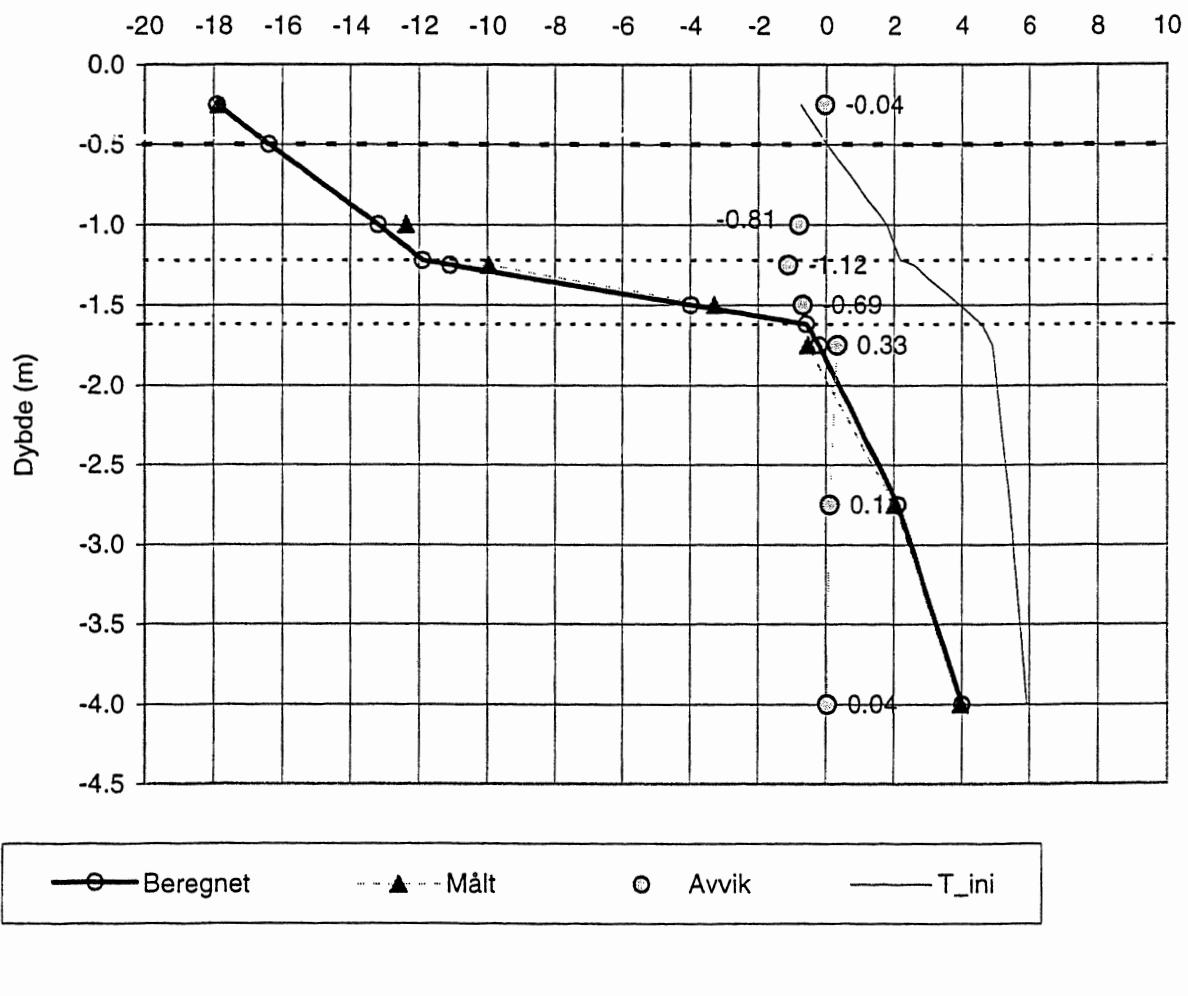
Beregn. Gj.frysing:
T-steg 67
Dag 100

Målestreng C1
Analyse C114 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

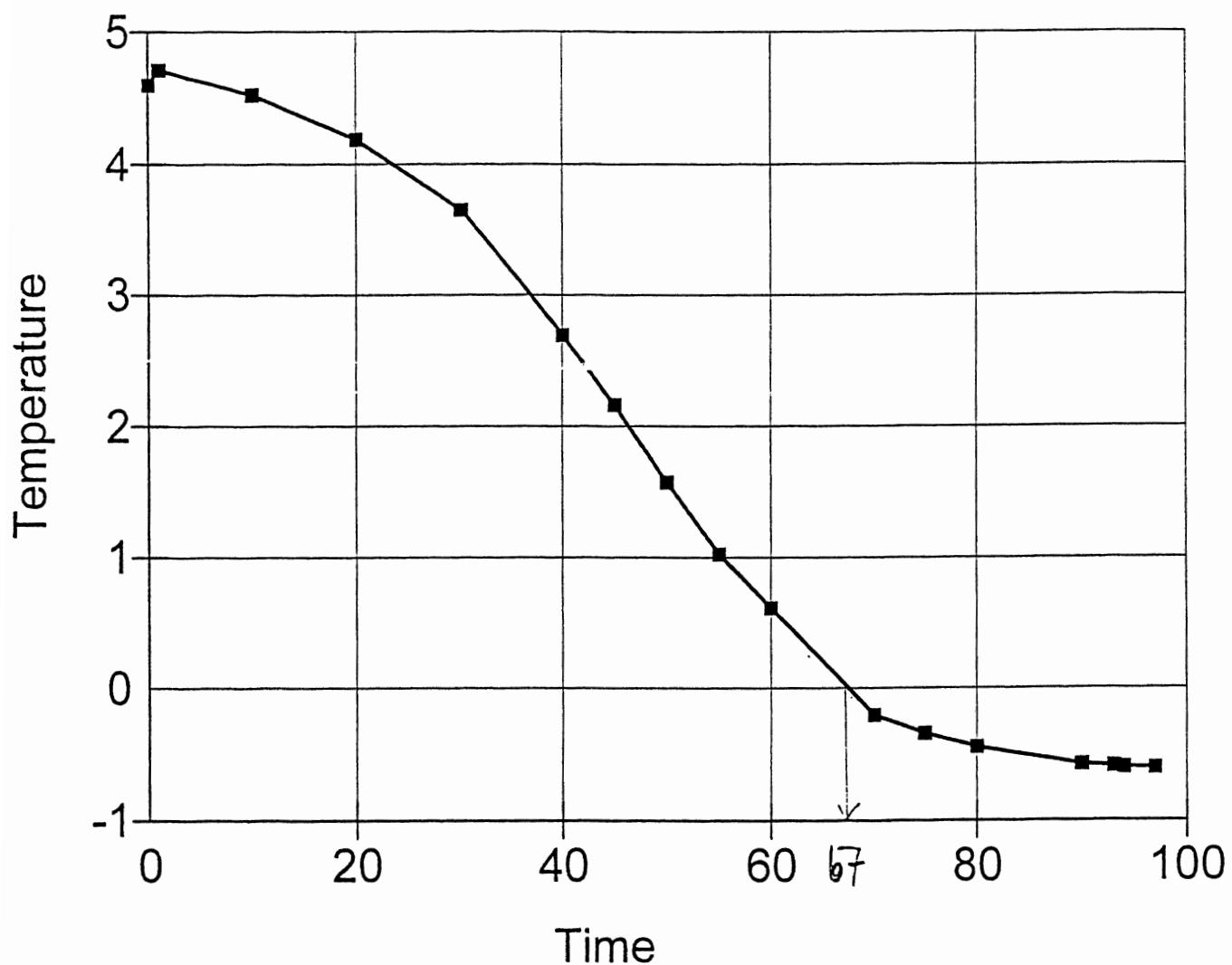


Dybde	Beregnet	Målt	Avvik	Initial temp.
m	dag 126	dag 126	T_b . - T_m	dag 34
-4.00	4.000	3.963	0.04	5.914
-2.75	2.110	2.001	0.11	5.441
-1.75	-0.213	-0.541	0.33	4.905
-1.62	-0.588			4.600
-1.50	-3.980	-3.287	-0.69	3.939
-1.25	-11.100	-9.977	-1.12	2.574
-1.22	-11.900			2.200
-1.00	-13.200	-12.391	-0.81	1.767
-0.50	-16.400			0.022
-0.25	-17.900	-17.860	-0.04	-0.763

Målestreng C1
Analyse C114 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



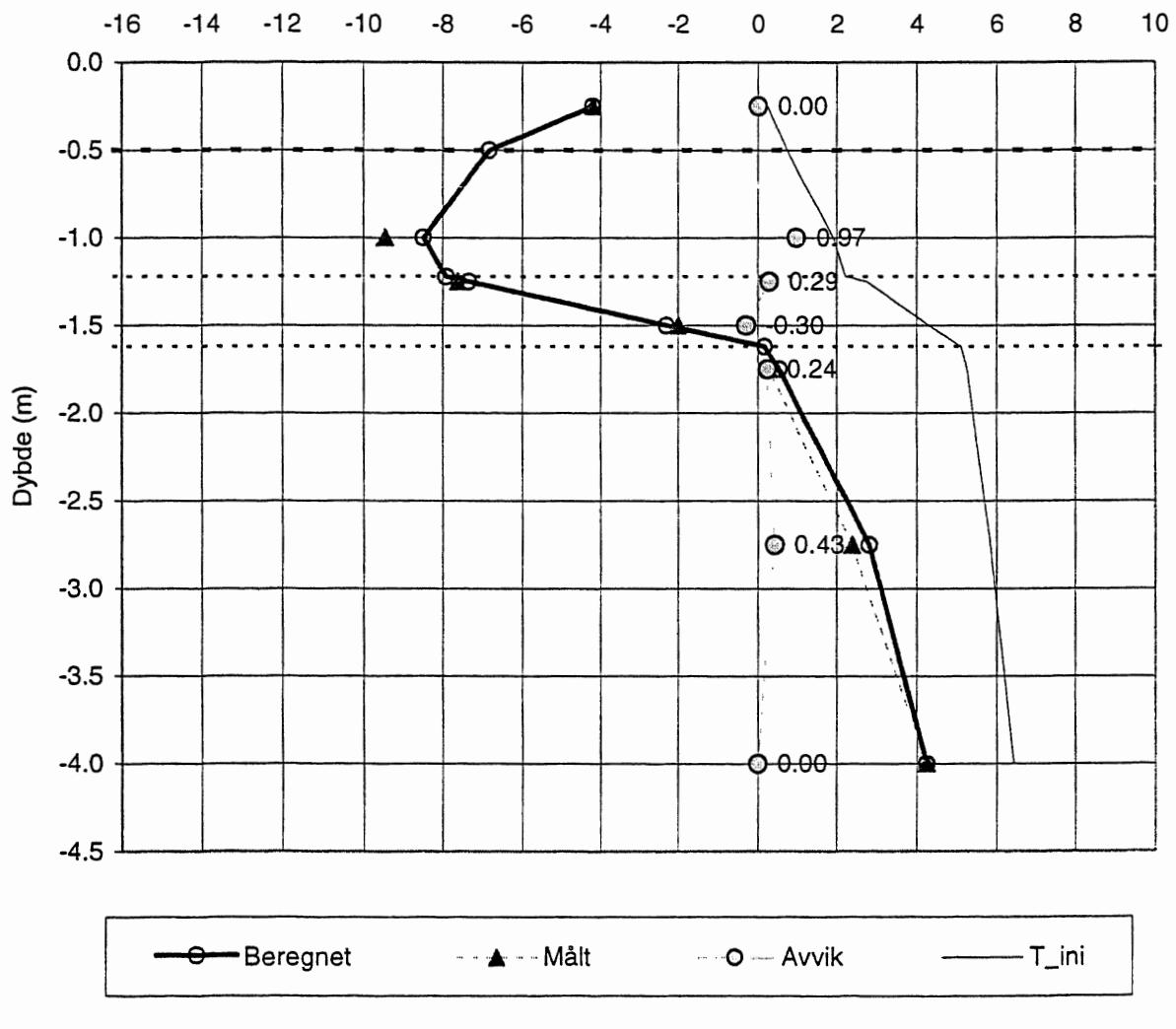
Temperature vs. Time C114



22K038.02

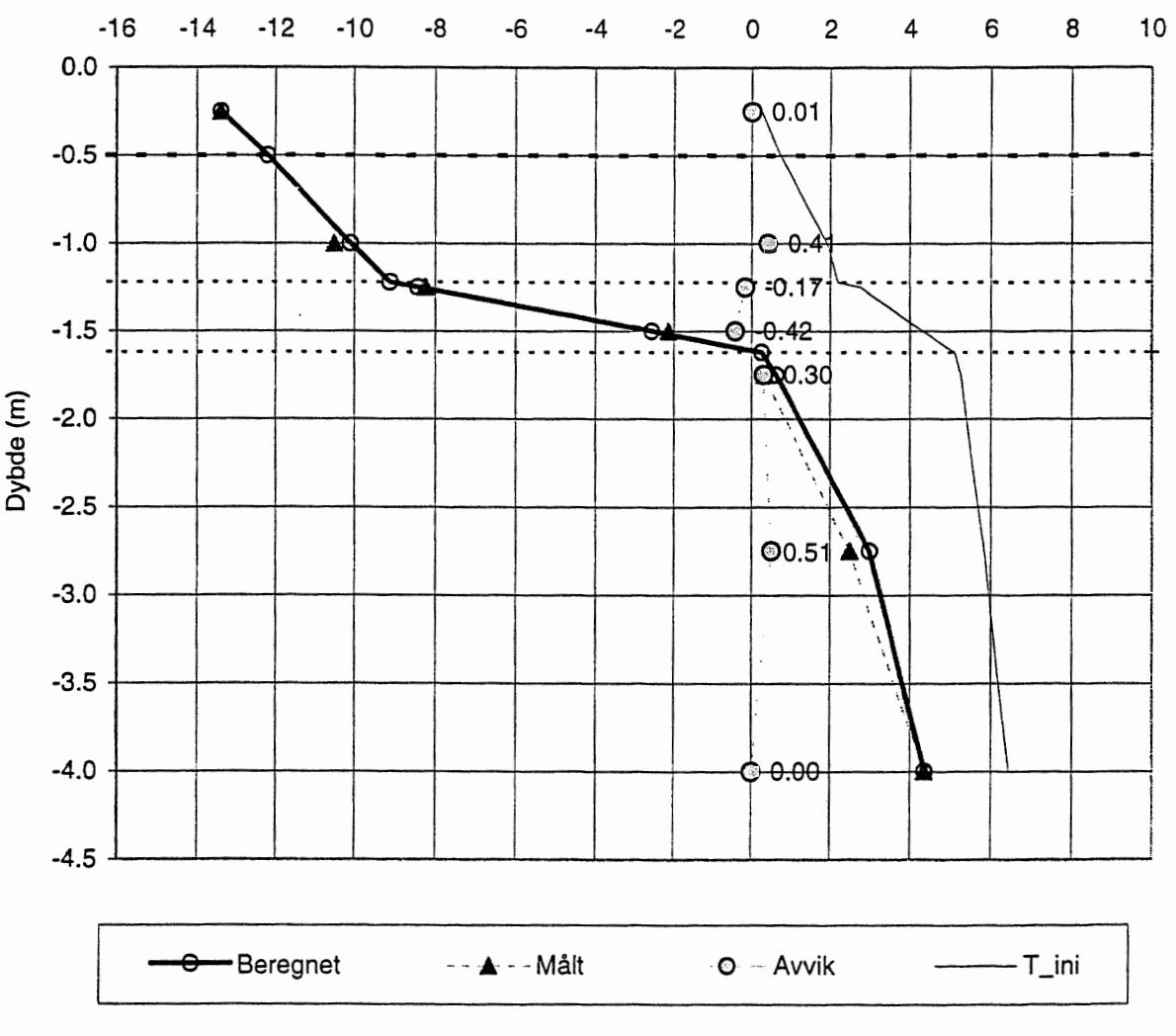
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34	Målt frost- nedtrengning: 1.61 m
-4.00	4.250	4.253	0.00	6.430	Beregnet frost- nedtrengning: 1.613
-2.75	2.810	2.379	0.43	5.830	
-1.75	0.532	0.289	0.24	5.254	
-1.62	0.172			5.100	
-1.50	-2.310	-2.007	-0.30	4.305	
-1.25	-7.340	-7.625	0.29	2.758	
-1.22	-7.920			2.200	Gjennomfrysing
-1.00	-8.490	-9.463	0.97	1.918	T-steg 97
-0.50	-6.830			0.741	
-0.25	-4.200	-4.202	0.00	0.258	Dag 130

Målestreng C2
Analyse C214 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

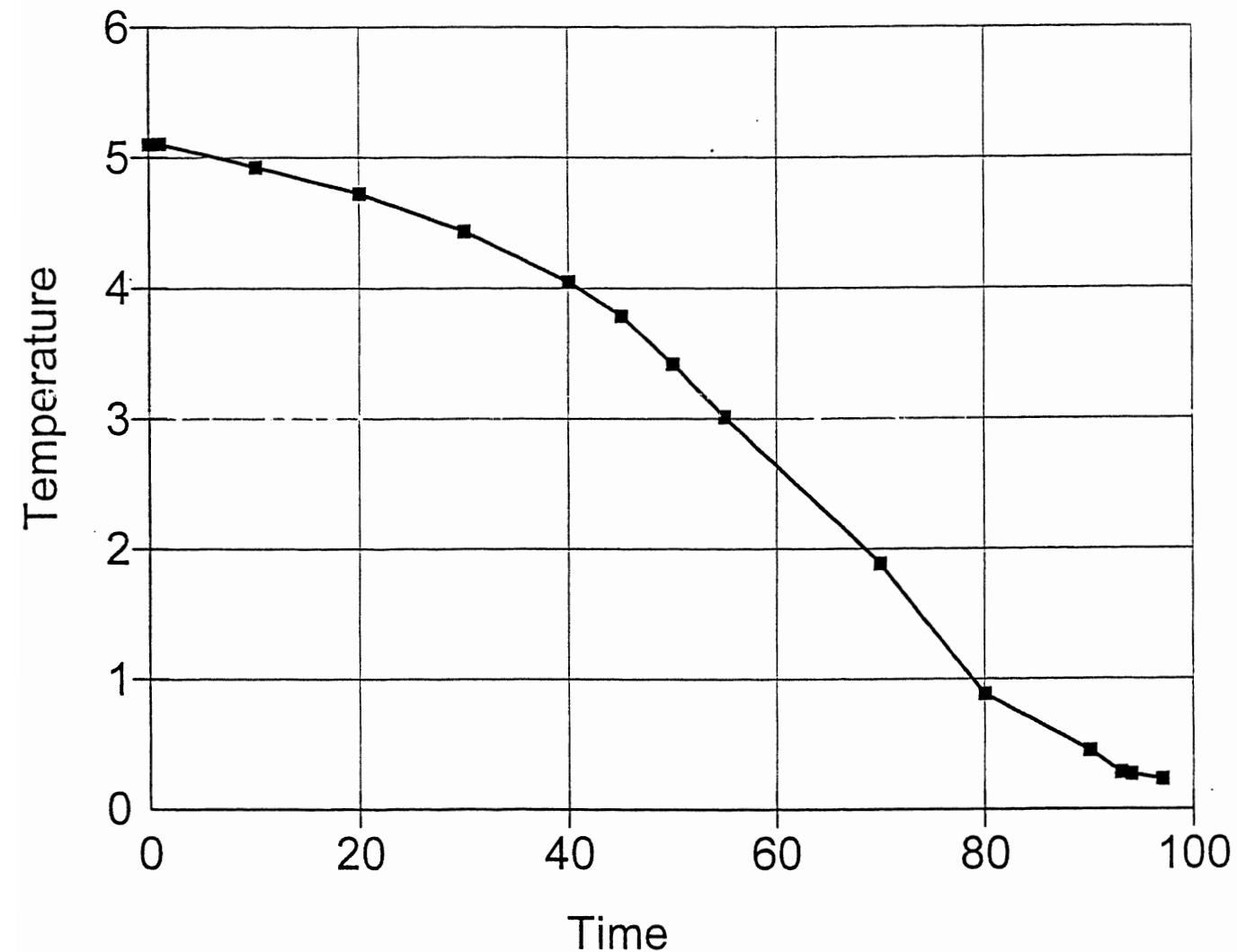


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.350	4.347	0.00	6.430
-2.75	2.990	2.482	0.51	5.830
-1.75	0.625	0.321	0.30	5.254
-1.62	0.253			5.100
-1.50	-2.580	-2.156	-0.42	4.305
-1.25	-8.420	-8.253	-0.17	2.758
-1.22	-9.110			2.200
-1.00	-10.100	-10.513	0.41	1.918
-0.50	-12.200			0.741
-0.25	-13.400	-13.406	0.01	0.258

Målestreng C2
Analyse C214 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



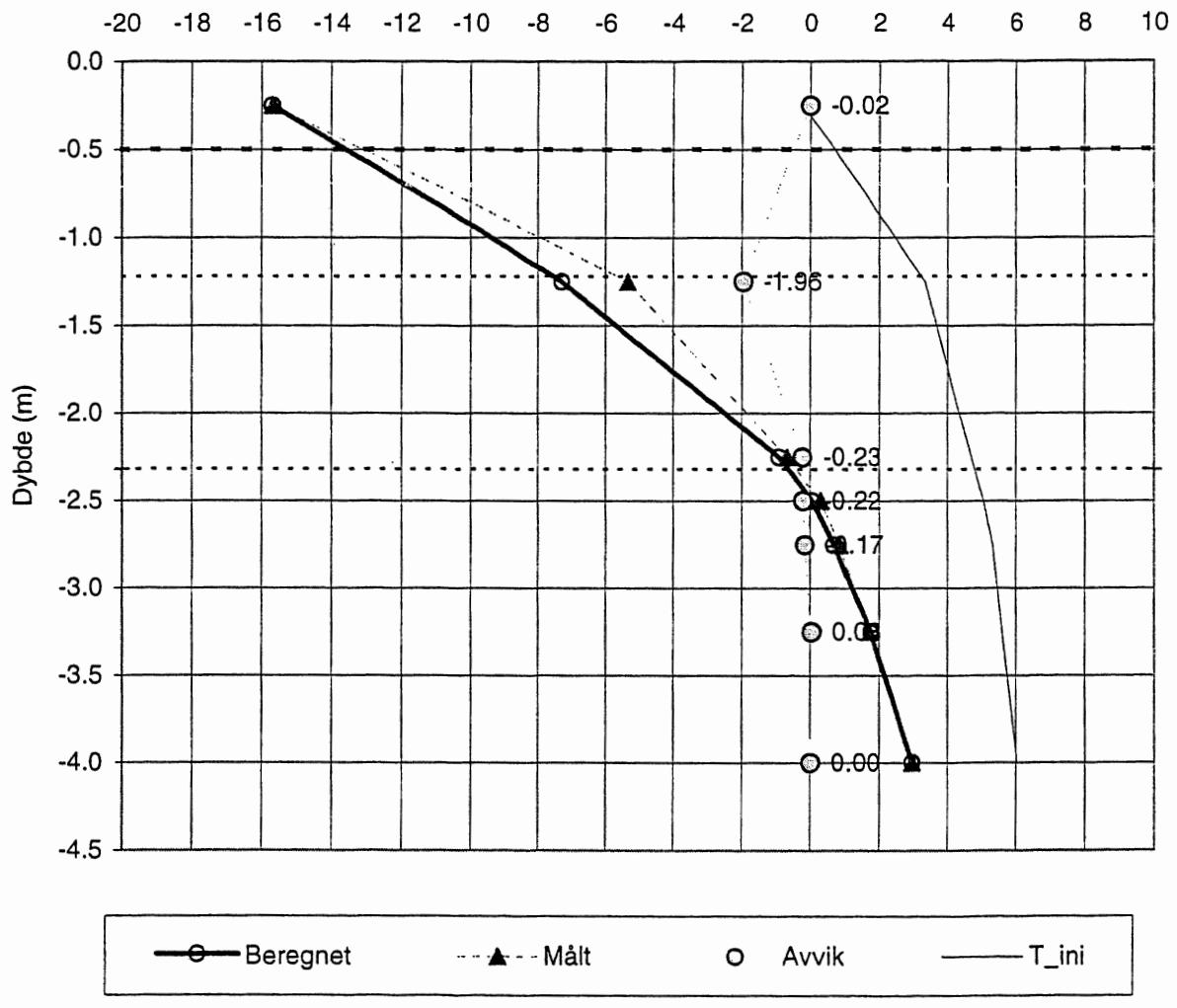
Temperature vs. Time C214



22K038.02

Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.960	2.963	0.00	6.034
-3.25	1.730	1.698	0.03	5.579
-2.75	0.656	0.821	-0.17	5.319
-2.50	0.054	0.276	-0.22	5.063
-2.25	-0.915	-0.686	-0.23	4.690
-1.25	-7.290	-5.333	-1.96	3.338
-0.25	-15.700	-15.679	-0.02	-0.199

Målestreng B3
Analyse B314 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.880	2.876	0.00	6.034
-3.25	1.610	1.642	-0.03	5.579
-2.75	0.565	0.787	-0.22	5.319
-2.50	-0.010	0.244	-0.25	5.063
-2.25	-0.957	-0.693	-0.26	4.690
-1.25	-6.670	-4.926	-1.74	3.338
-0.25	-2.250	-2.250	0.00	-0.199

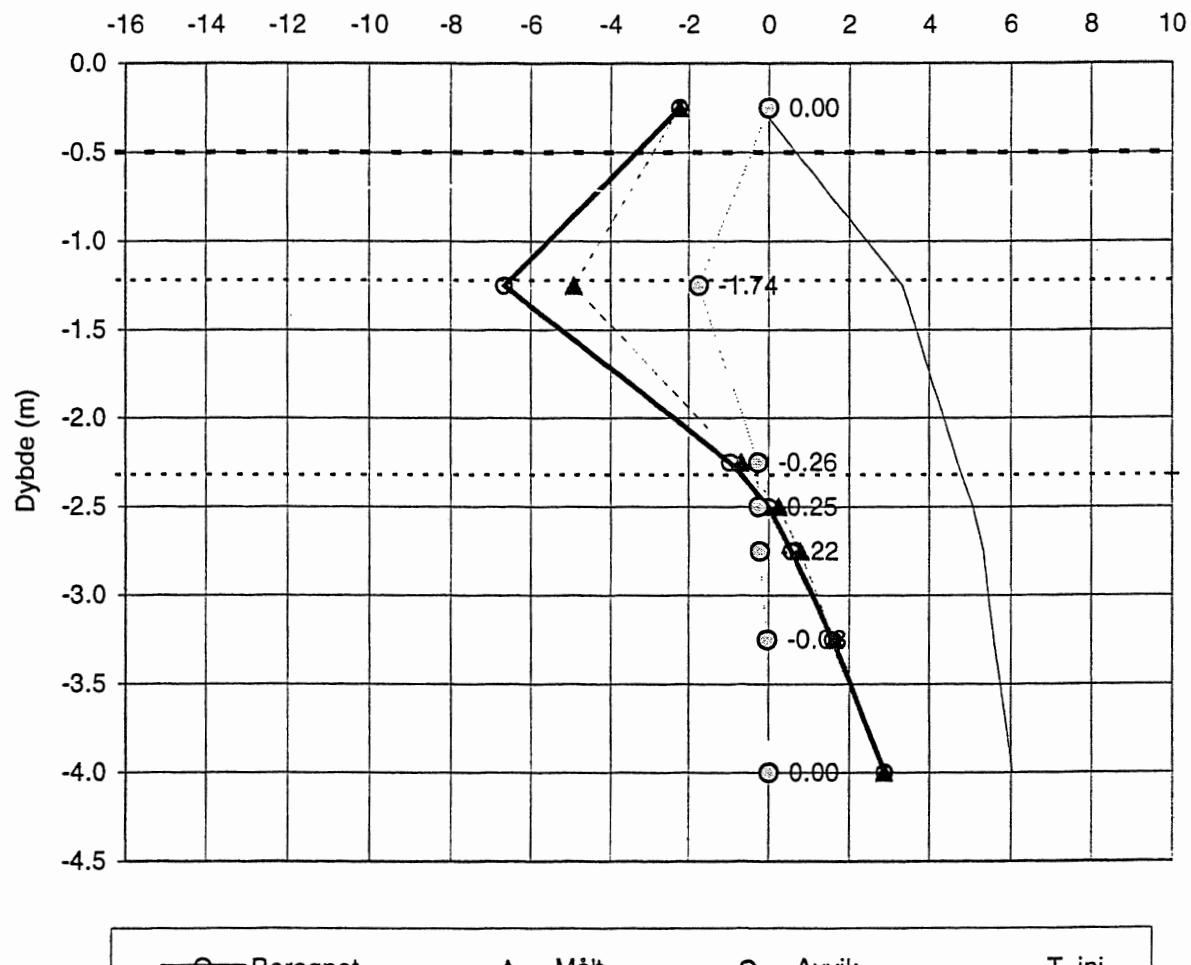
Målt frost-
nedtrengning:
-2.43

Beregnet frost-
nedtrengning:
-2.507

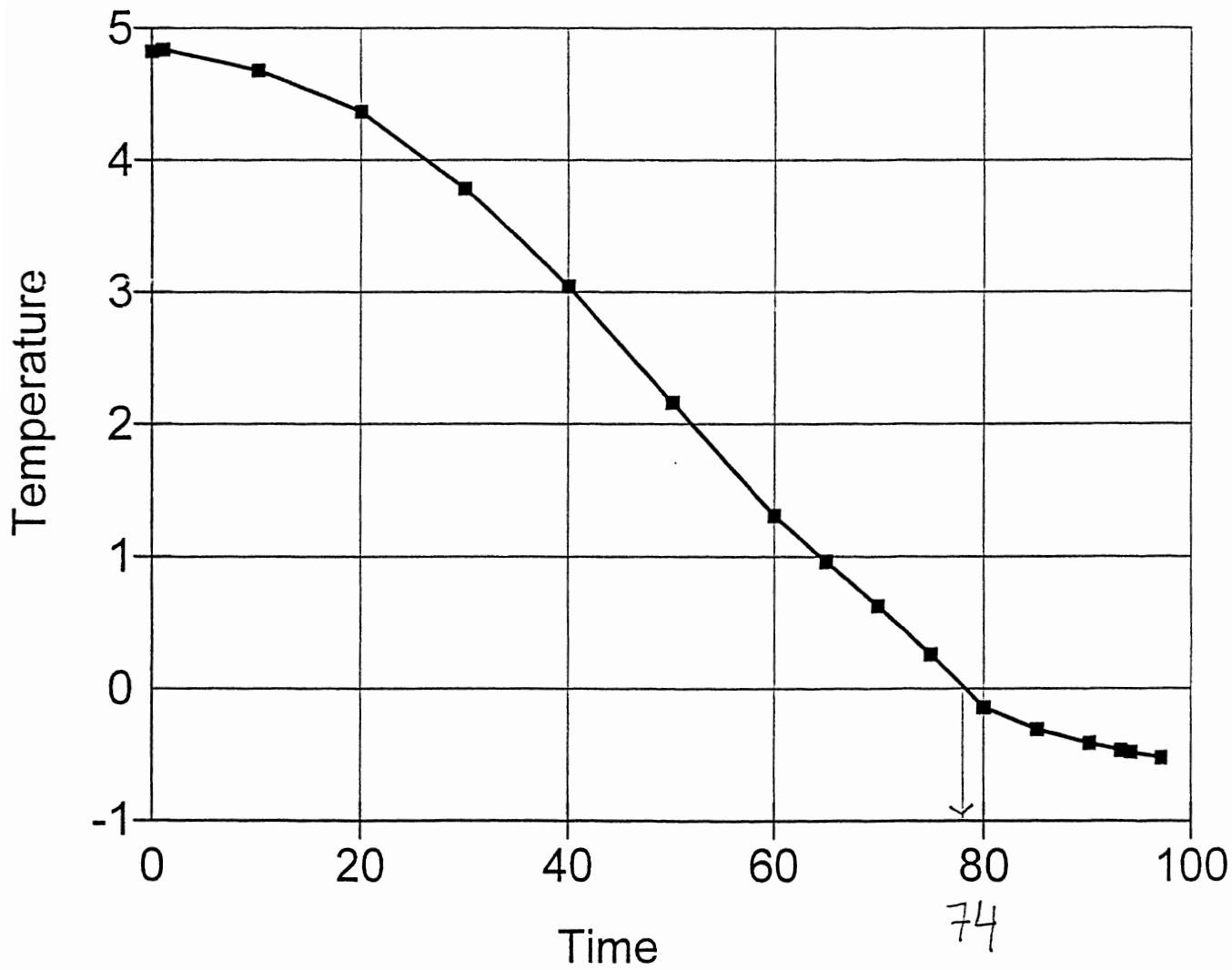
Beregn. Gj.frysing:
T-steg 74
Dag nr. 107

Ok

Målestreng B3 Analyse B314 - Dag 130 Målt og beregnet temperaturprofil



b314 uk fylling

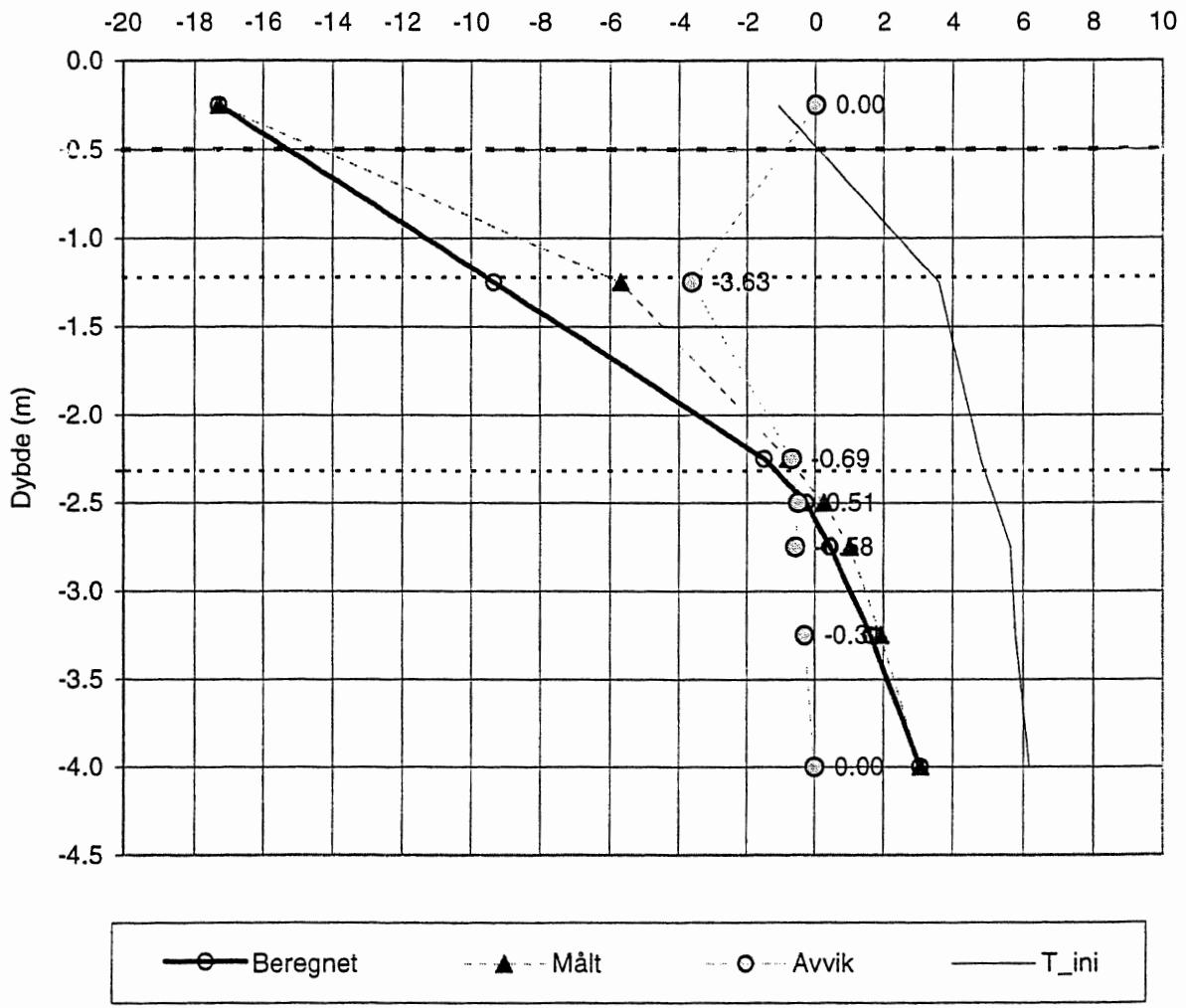


Beresnet:
G. hyperg

22K038.02

Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	3.070	3.072	0.00	6.173
-3.25	1.620	1.925	-0.31	5.783
-2.75	0.427	1.008	-0.58	5.637
-2.50	-0.256	0.250	-0.51	5.217
-2.25	-1.510	-0.819	-0.69	4.801
-1.25	-9.330	-5.705	-3.63	3.601
-0.25	-17.300	-17.300	0.00	-1.102

Målestreng B4
Analyse B414 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



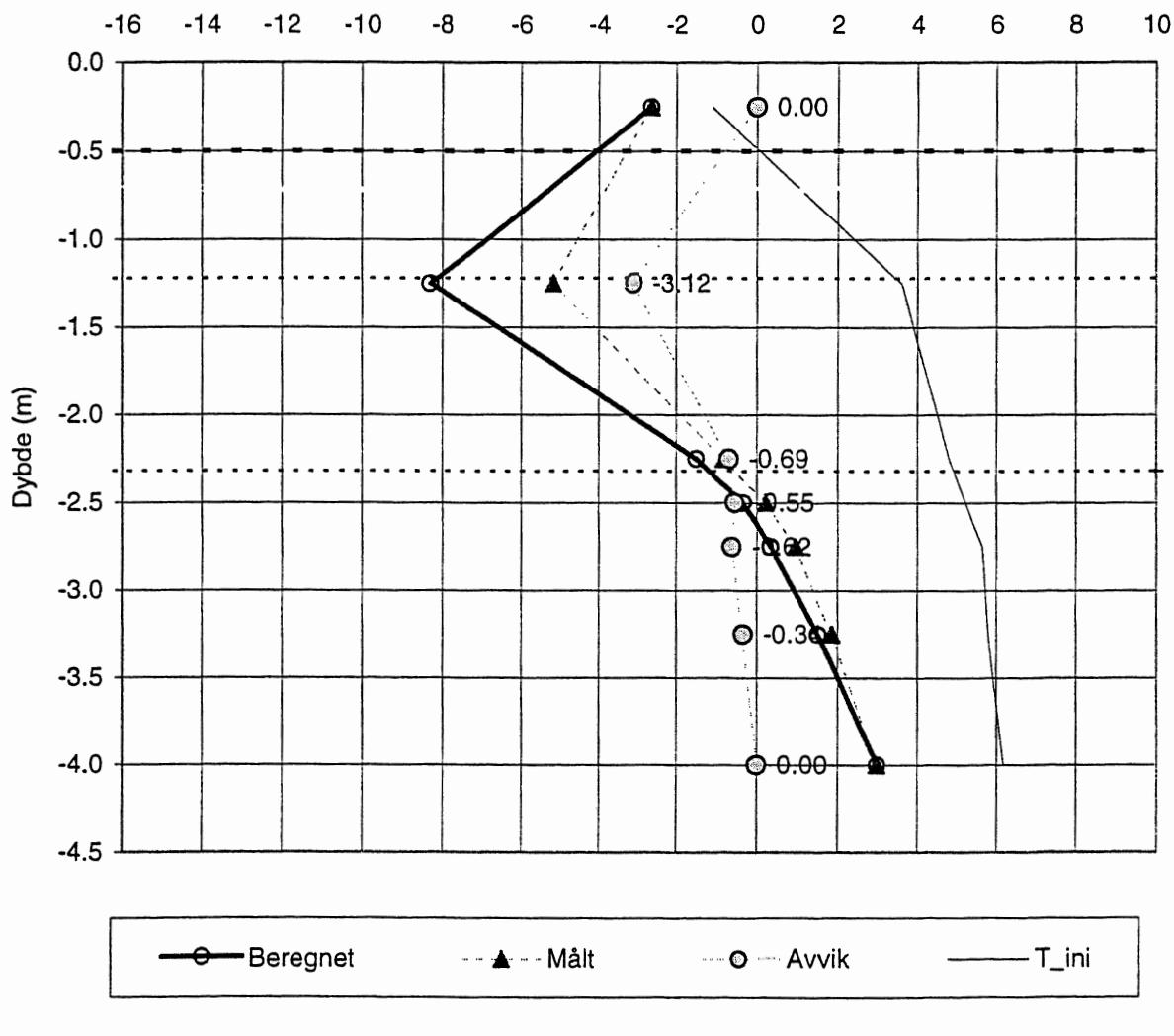
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.990	2.989	0.00	6.173
-3.25	1.510	1.853	-0.34	5.783
-2.75	0.346	0.963	-0.62	5.637
-2.50	-0.331	0.216	-0.55	5.217
-2.25	-1.510	-0.82	-0.69	4.801
-1.25	-8.300	-5.176	-3.12	3.601
-0.25	-2.660	-2.656	0.00	-1.102

Målt frost-nedtrengning:
-2.42

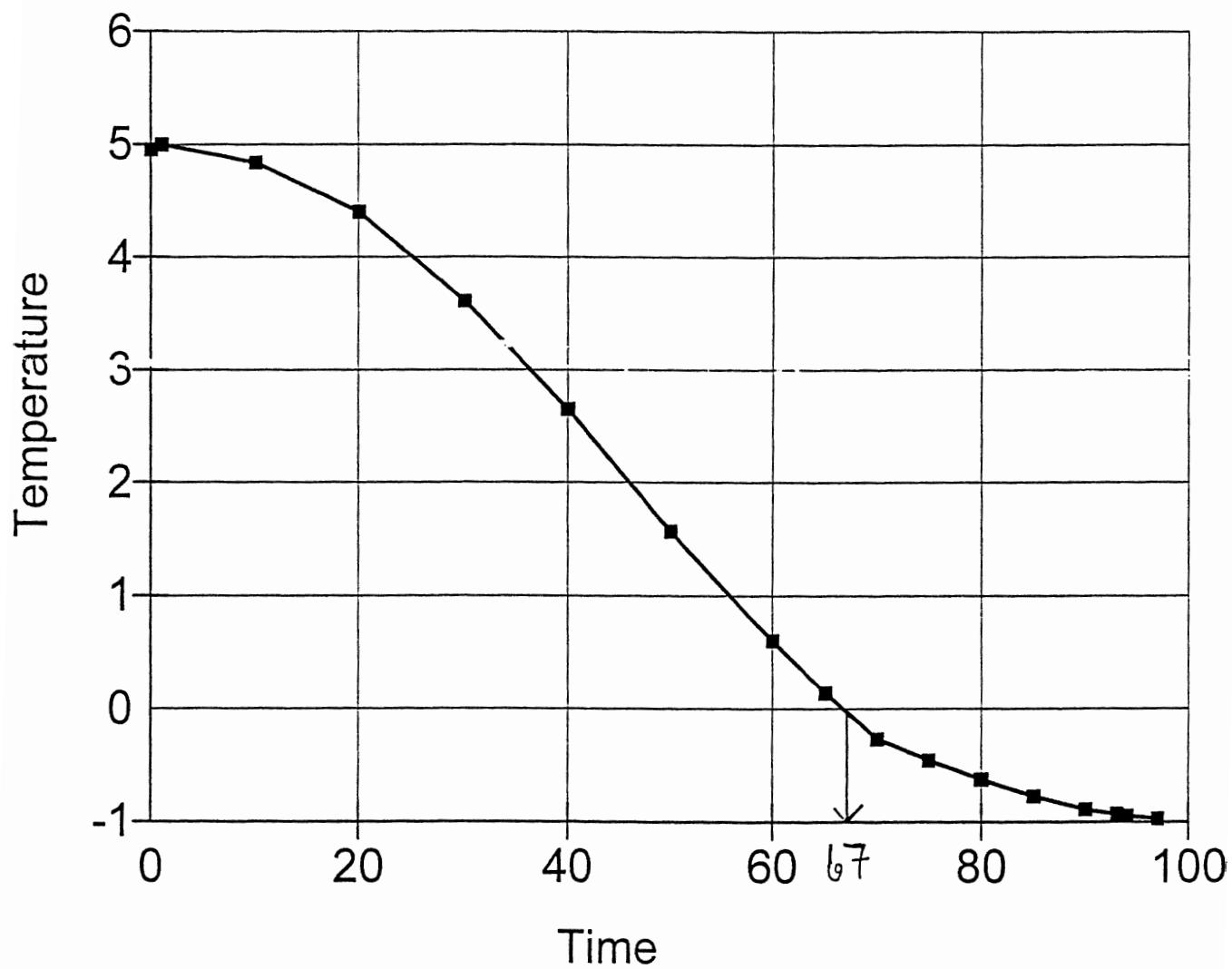
Beregnet frost-nedtrengning:
-2.615

Beregn. Gj.frysing:
T_steg 67
Dag nr 100

Målestreng B4
Analyse B414 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time b414



Gjennomfrysing
beregnet

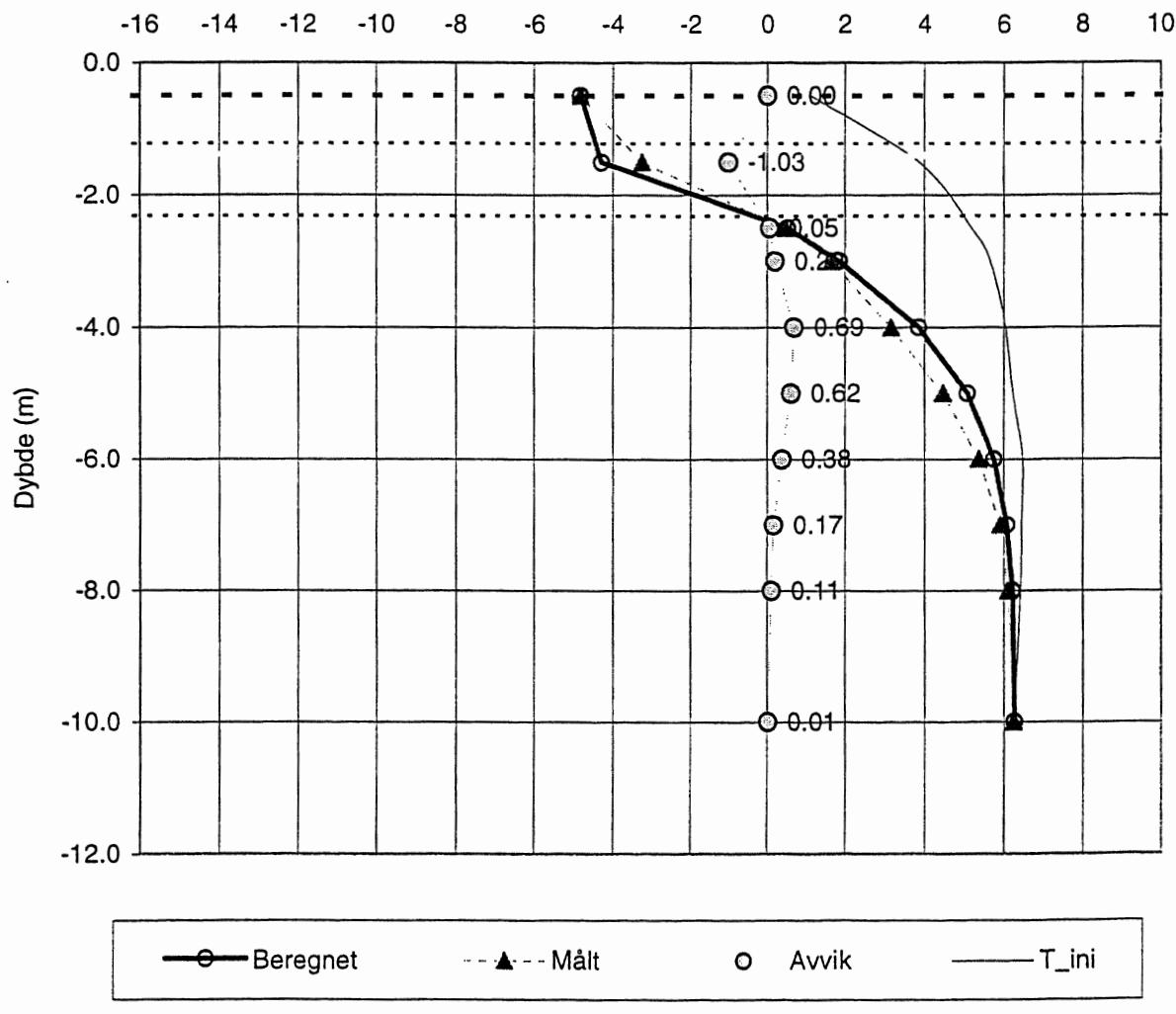
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.245	0.01	6.260
-8.00	6.210	6.102	0.11	6.422
-7.00	6.070	5.9	0.17	6.447
-6.00	5.740	5.357	0.38	6.481
-5.00	5.070	4.454	0.62	6.228
-4.00	3.850	3.158	0.69	6.045
-3.00	1.850	1.650	0.20	5.655
-2.50	0.524	0.472	0.05	5.181
-1.50	-4.290	-3.263	-1.03	3.876
-0.50	-4.830	-4.830	0.00	1.135

Målt frost-
nedtrengning:
-2.365

Beregnet frost-
nedtrengning:
-2.322

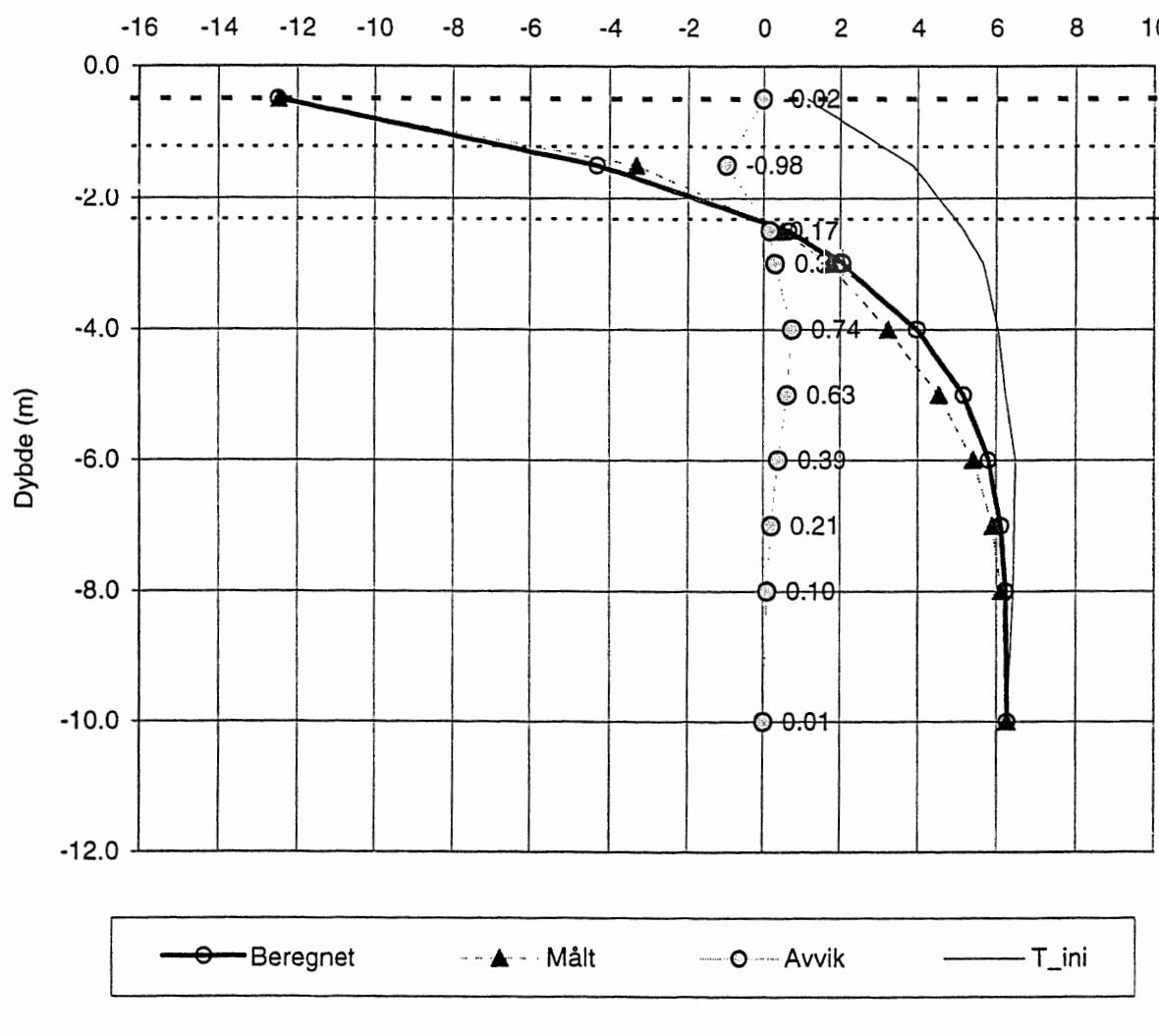
Beregn. Gj.frysing:
T_steg 97
Dag 130

Målestreng B6 Analyse B614 - Dag 130 Målt og beregnet temperaturprofil

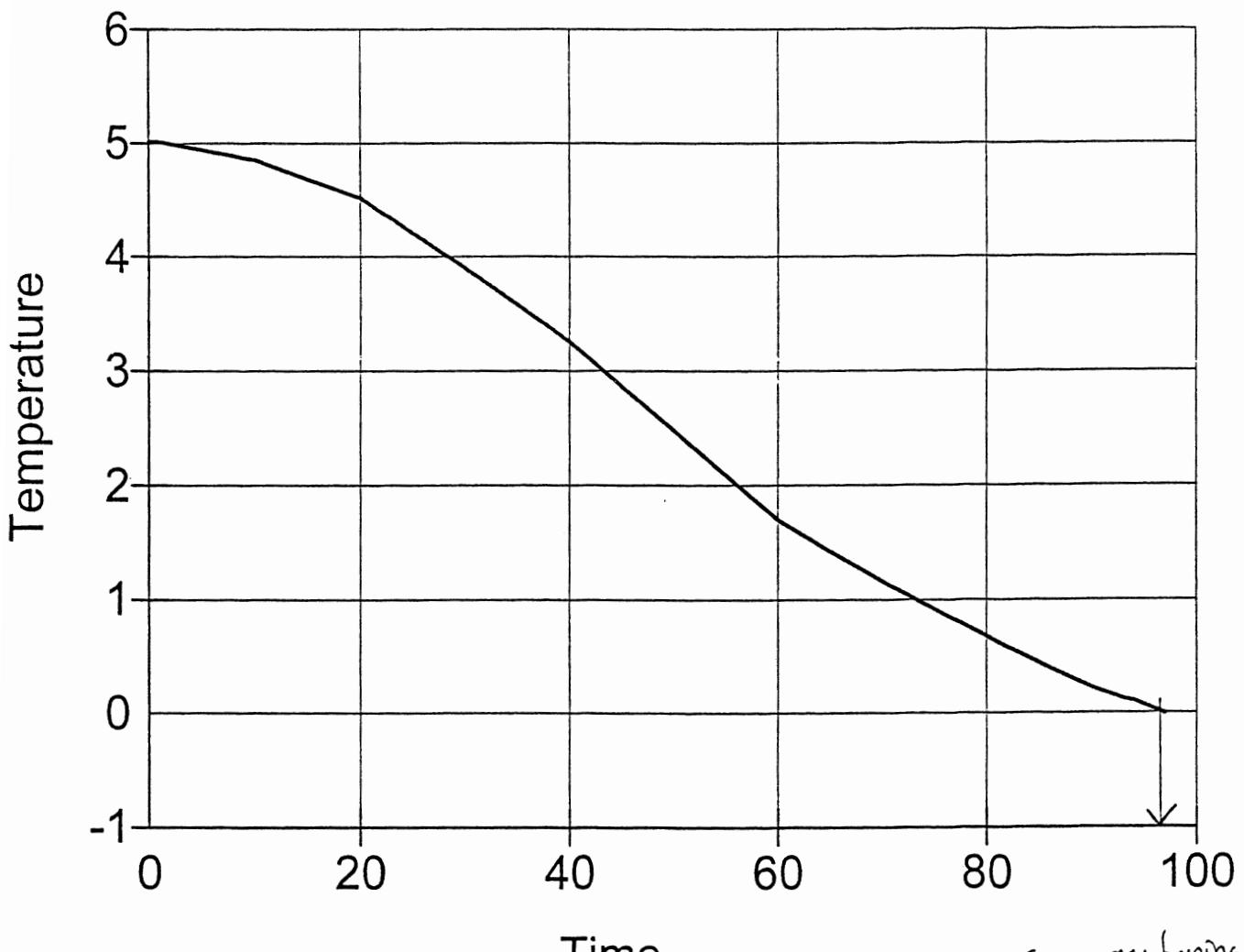


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.251	0.01	6.260
-8.00	6.220	6.118	0.10	6.422
-7.00	6.100	5.894	0.21	6.447
-6.00	5.790	5.401	0.39	6.481
-5.00	5.160	4.535	0.63	6.228
-4.00	3.980	3.236	0.74	6.045
-3.00	2.000	1.699	0.30	5.655
-2.50	0.662	0.496	0.17	5.181
-1.50	-4.320	-3.337	-0.98	3.876
-0.50	-12.500	-12.479	-0.02	1.135

Målestreng B6
Analyse B614 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time B614



Gennomføring.
Dag 97.

Varierende varmeledning for sprengstein, analyseserien X15 og X16

På grunn av de store avvikene mellom målte og beregnede temperaturer for målestrengene i rein sprengstein fylling i de to første analyseseriene, er det gjort to analyseserier som kun omfatter målestrengene B3, B4 og B6.

I analyseserie X15 er varmeledningsevne for nedre forsterkningslag redusert. I analyseserie X16 er også varmeledningsevne for øvre forsterkningslag og pukklaget redusert. Data for øvrig er som for serie X14. Temperaturprofiler er ikke vedlagt.

Tabell 3A-1 Materialdata for analyseseriene X15 for målestreng B3, B4 og B6.

Materiale	Lag tykkelse mm	Tørr densitet kN/m ³	Vann innhold.		Varmeledningsevne W/mK				Volumetrisk varme kapasitet.	
			vekt %.	vol %	-20 °C	-0 °C	+0°C	20 °C	kJ/m3K	
Ballast pukk	500	1800	2	3.6	1.00		1.00		1330	1410
Ø. Forsterkn. l.	720	2050	1.2	2.5	0.90		0.90		1749	1803
N. forsterkn. l	1100	2050	1.2	2.5	0.82		0.82		1749	1803
Undergrunn	-	1700	20.9	33.4	2.40		1.40		1901	2882

Tabell 3A-2 Materialdata for analyseseriene X16 for målestreng B3, B4 og B6.

Materiale	Lag tykkelse mm	Tørr densitet kN/m ³	Vann innhold.		Varmeledningsevne W/mK				Volumetrisk varme kapasitet.	
			vekt %.	vol %	-20 °C	-0 °C	+0°C	20 °C	kJ/m3K	
Ballast pukk	500	2050	1.2	2.5	0.82		0.82		1749	1803
Ø. Forsterkn. l.	720	2050	1.2	2.5	0.82		0.82		1749	1803
N. forsterkn. l	1100	2050	1.2	2.5	0.82		0.82		1749	1803
Undergrunn	-	1700	20.9	33.4	2.40		1.40		1901	2882

Reduksjon av varmeledning for sprengstein endrer ikke på hovedtrekkene av beregnede temperaturprofiler for streng B3, B4 og B6 i analyseserie X14

Serie X17

For denne analyseserien er det antatt at pukklaget og øvre forsterkningslag er tilnærmet tørre og har samme lav varmeledningsevne og materialparametere.

Tabell 4A Materialdata for analyseserien X17.

Materiale	Lag tykkelse mm	Tørr densitet kN/m ³	Vann innhold.		Varmeledningsevne W/mK				Volumetrisk varme kapasitet.	
			vekt %.	vol %	-20 °C	-0 °C	+0°C	20 °C	kJ/m3K	
Ballast pukk	500	2100	0	0	0.60		0.60		1470	1470
Ø. Forsterkn. l.	720	2100	0	0	0.60		0.60		1470	1470
Leca 10 - 20	400	300	24.0	7.2	0.18	0.19	0.16	0.21	354	512
N. Forsterkn. 1	1100	2050	1.2	2.5	1.10		1.10		1749	1803
Undergrunn	-	1700	20.9	33.4	2.40		1.40		1901	2882

Tabell 4B Kommentarer til resultatene fra analyseserie X17

Tallene i parentes i kommentarkolonnen er avvik mellom beregnet og målt temperatur, T_b-T_m , ved forsøksslutt, dag 126.

Måle-streng	Kommentarer til resultatene fra analyseserie X14	Frostdyp, dag 130 Målt/beregnet (m)	Beregnet. gj.frysing Dag nr.
C1	Simulerete temperaturer noe forhøye men avvik mindre enn 0.70°C i alle punkt..	1.77/1.784	119
C2	Denne etterregningen gir for høye temperaturer i fylling og undergrunn; øvre forsterkningslag (2.0°C), Leca (1.50°C), undergrunn, (1 - 1.5°C).	1.61/1.545	-
B3	Meget små avvik mellom beregnet og målt temperatur.	2.43/-2.401	124
B4	Noe for kaldt i sprengstein (-0.94°C). Noe for kaldt i undergrunn.	2.42/2.534	109
B6	For varmt i sprengstein og undergrunn men avvik mindre enn 0.80°C	2.365/2.195	-

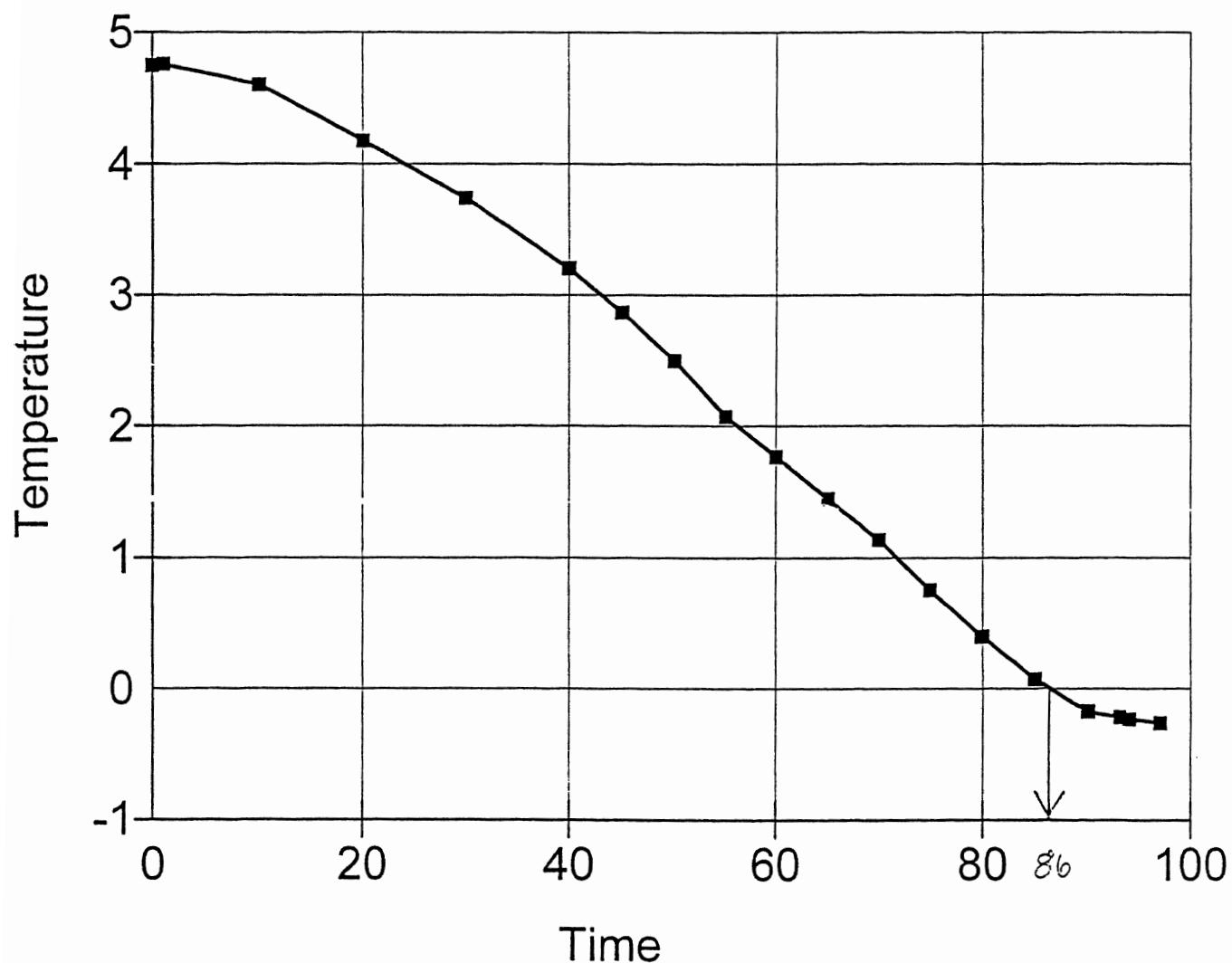
Denne kombinasjonen av materialparametere gir beregnet temperatur som avviker mindre enn 1.0°C fra observert temperatur for målestreng C1, B3 og B4.

For målestreng C2 og B6 gir materialparameterne for høye beregnede temperaturer og for liten frostnedtrengning.

For hver målestreng er det vedlagt 3 resultatark:

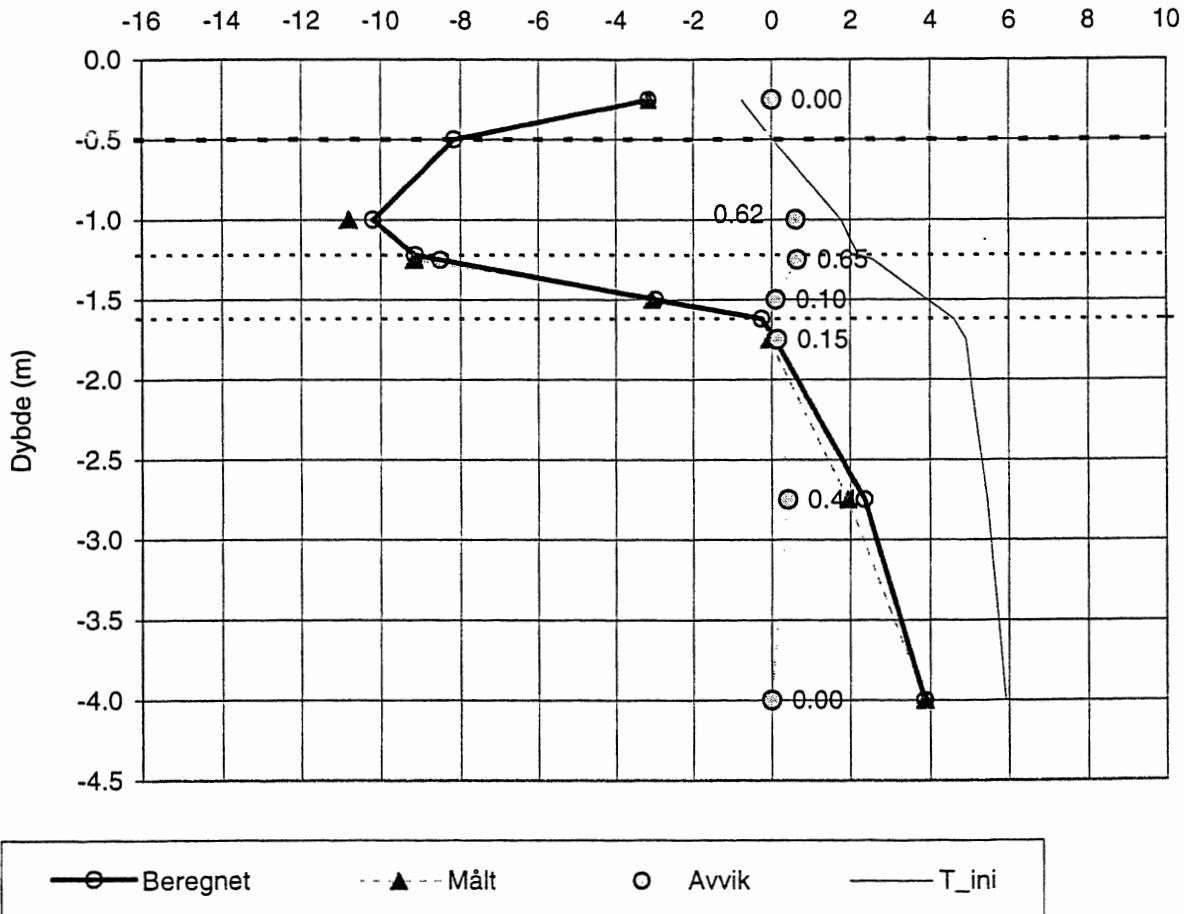
- Beregnet og målt temperaturprofil for dag 126 (siste forsøksdag)
- Beregnet og målt temperaturprofil dag 130
- Temperatur som funksjon av tid for grense mellom fylling og undergrunn

Temperature vs. Time. C117



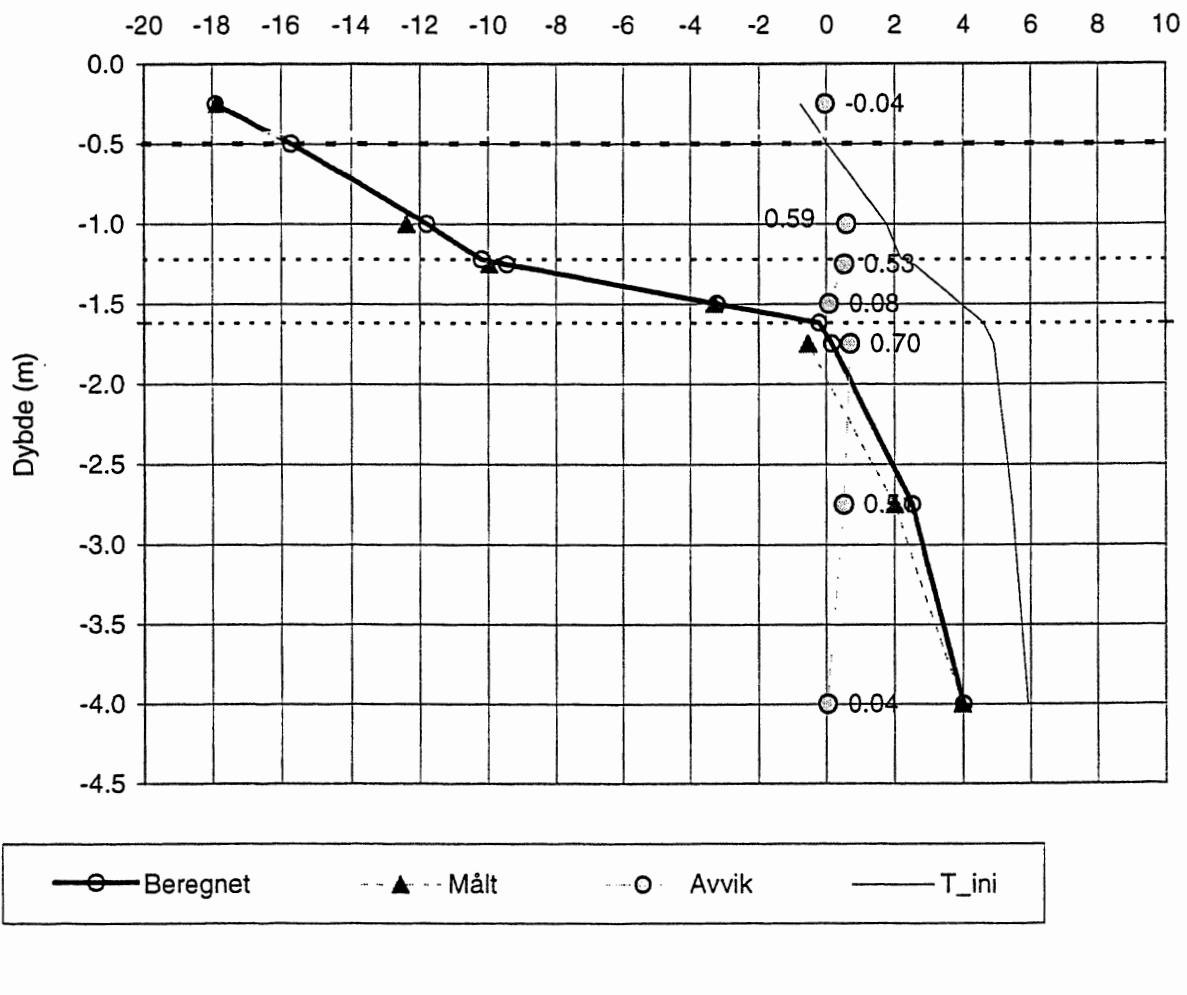
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34	Målt frost- nedtrengning: -1.77
-4.00	3.870	3.869	0.00	5.914	Beregnet frost- nedtrengning: -1.784
-2.75	2.340	1.933	0.41	5.441	Beregn. Gj.frysing: T-steg 86
-1.75	0.089	-0.058	0.15	4.905	Dag 119
-1.62	-0.260			4.600	
-1.50	-2.980	-3.081	0.10	3.939	
-1.25	-8.510	-9.164	0.65	2.574	
-1.22	-9.150			2.200	
-1.00	-10.200	-10.821	0.62	1.767	
-0.50	-8.170			0.022	
-0.25	-3.170	-3.171	0.00	-0.763	

Målestreng C1
Analyse C117 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

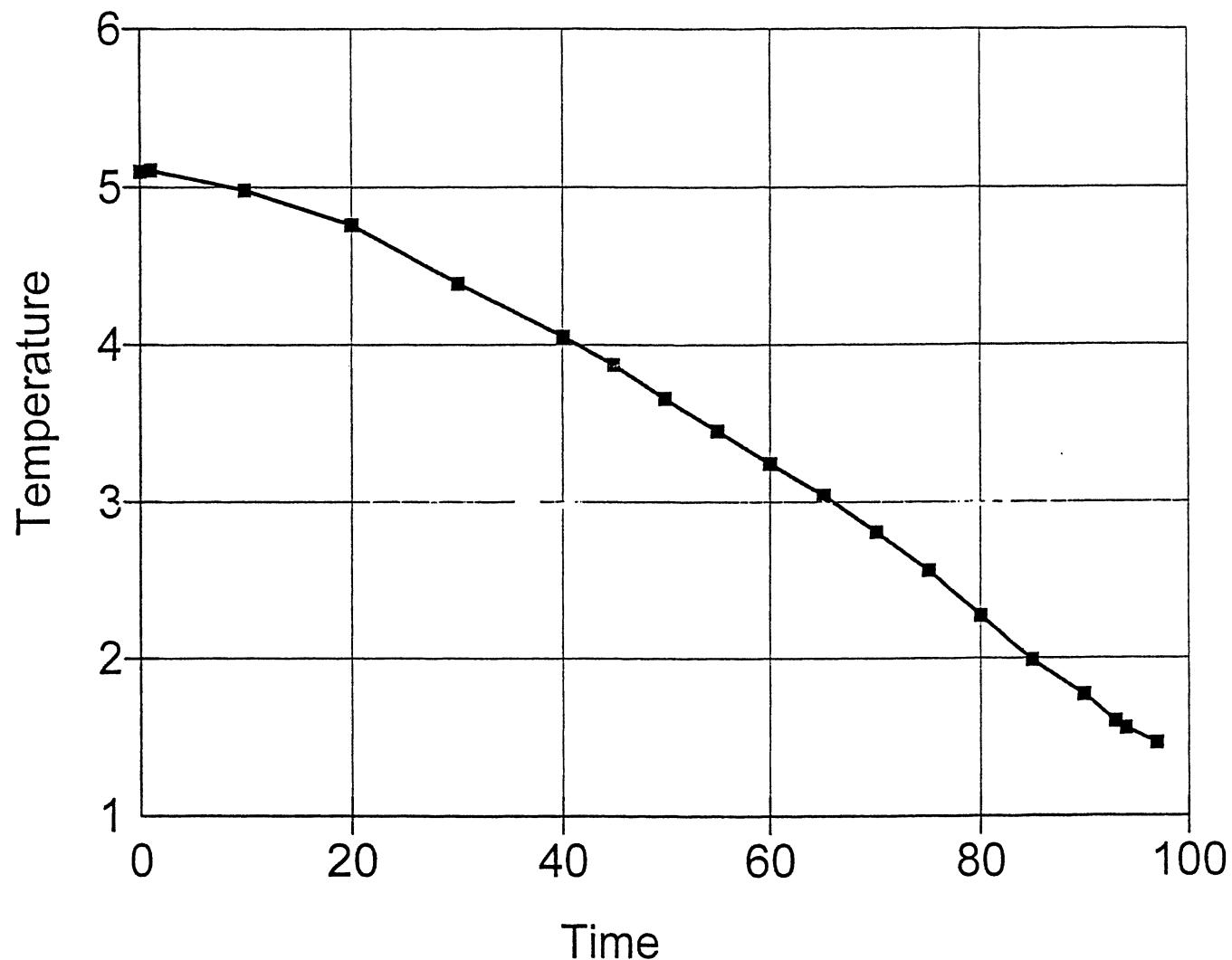


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.000	3.963	0.04	5.914
-2.75	2.510	2.001	0.51	5.441
-1.75	0.158	-0.541	0.70	4.905
-1.62	-0.219			4.600
-1.50	-3.210	-3.287	0.08	3.939
-1.25	-9.450	-9.977	0.53	2.574
-1.22	-10.200			2.200
-1.00	-11.800	-12.391	0.59	1.767
-0.50	-15.700			0.022
-0.25	-17.900	-17.860	-0.04	-0.763

Målestreng C1
Analyse C117 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time. C217



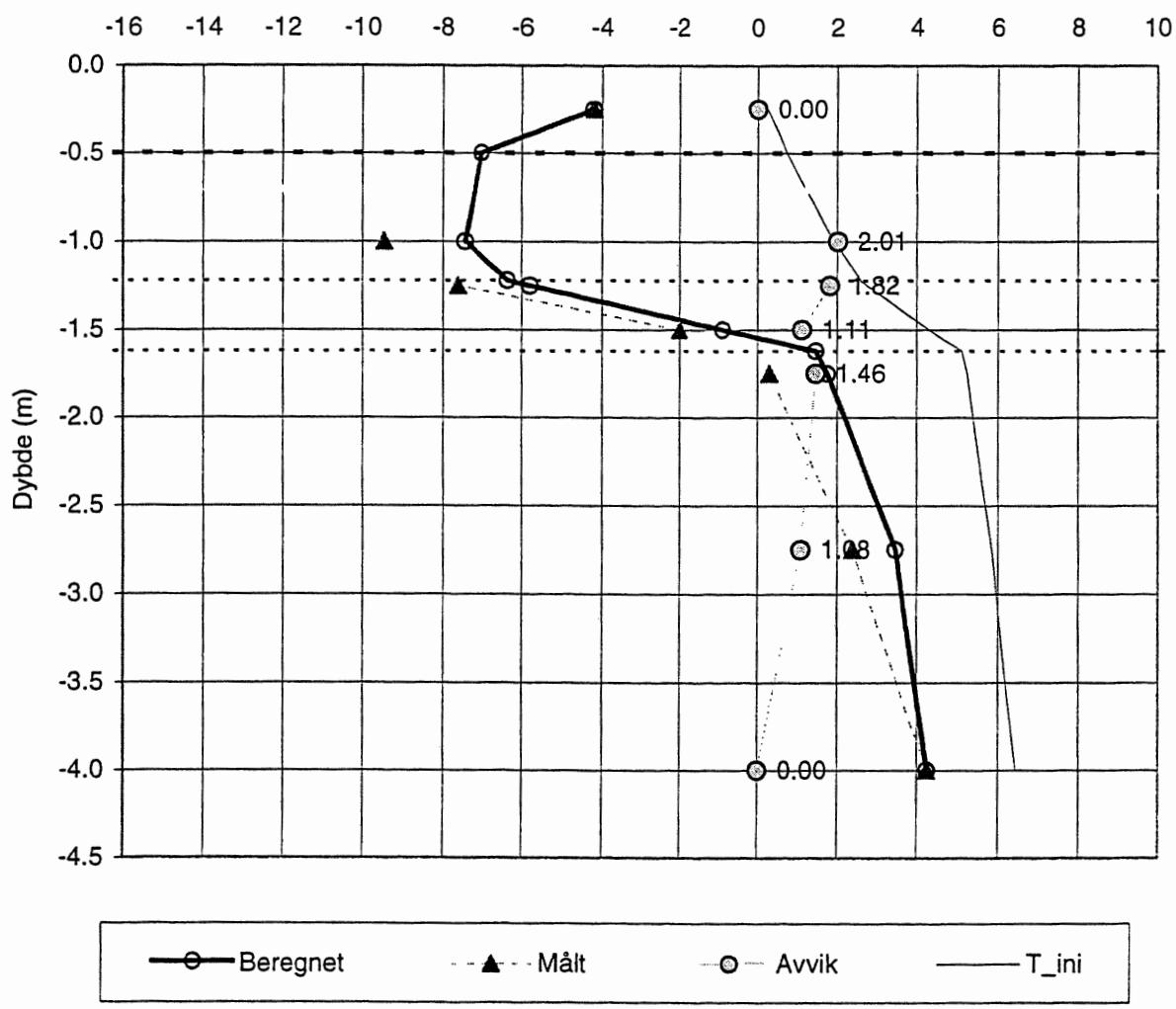
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.250	4.253	0.00	6.430
-2.75	3.460	2.379	1.08	5.830
-1.75	1.750	0.289	1.46	5.254
-1.62	1.460			5.100
-1.50	-0.893	-2.007	1.11	4.305
-1.25	-5.810	-7.625	1.82	2.758
-1.22	-6.380			2.600
-1.00	-7.450	-9.463	2.01	1.918
-0.50	-7.040			0.741
-0.25	-4.200	-4.202	0.00	0.258

Målt frost-nedtrengning:
1.61 m

Beregnet frost-nedtrengning:
-1.545

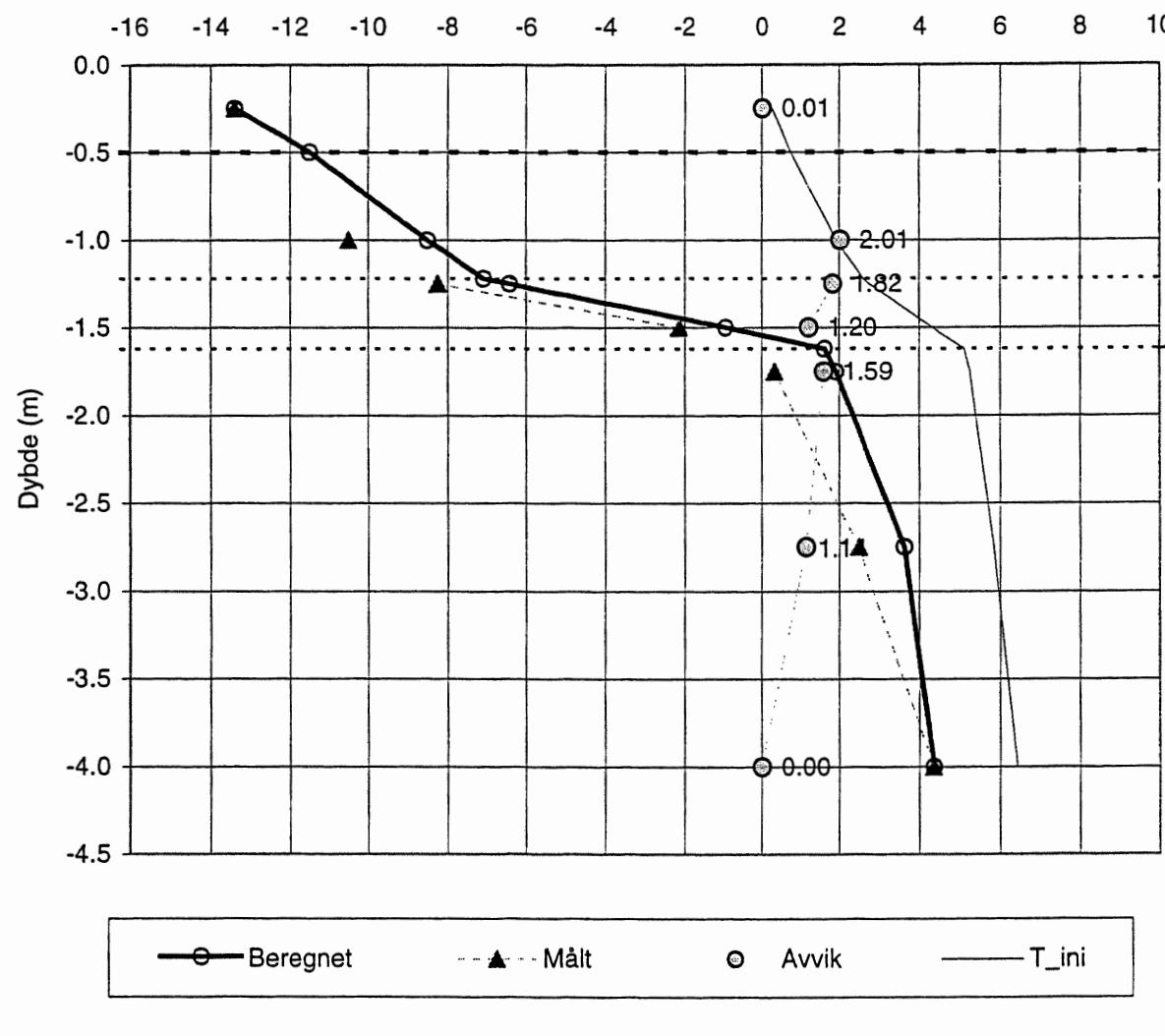
Ingen gjennomfrysing

Målestreng C2
Analyse C217 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil



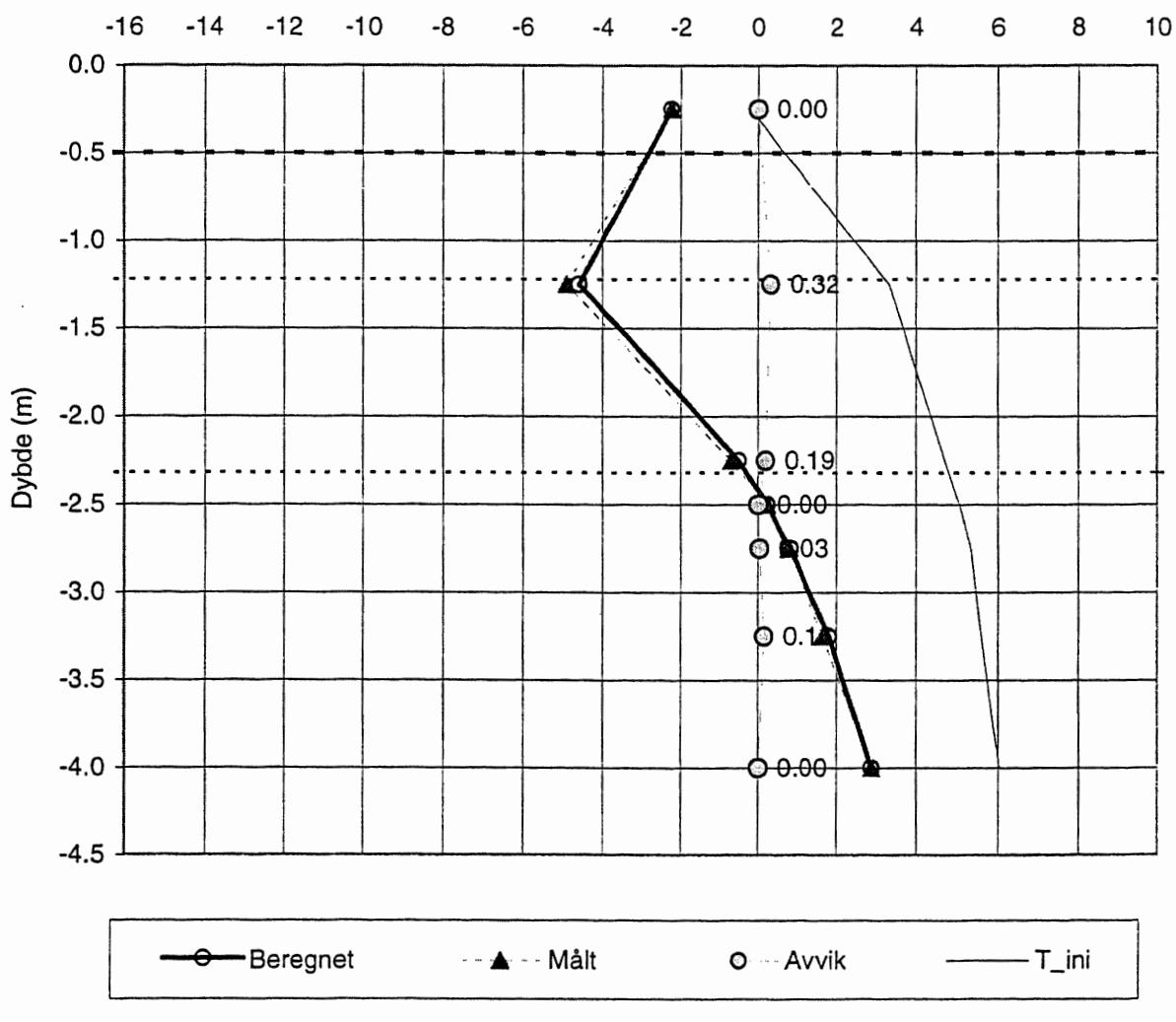
Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	4.350	4.347	0.00	6.430
-2.75	3.620	2.482	1.14	5.830
-1.75	1.910	0.321	1.59	5.254
-1.62	1.600			5.100
-1.50	-0.952	-2.156	1.20	4.305
-1.25	-6.430	-8.253	1.82	2.758
-1.22	-7.090			2.600
-1.00	-8.500	-10.513	2.01	1.918
-0.50	-11.500			0.741
-0.25	-13.400	-13.406	0.01	0.258

Målestreng C2
Analyse C217 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



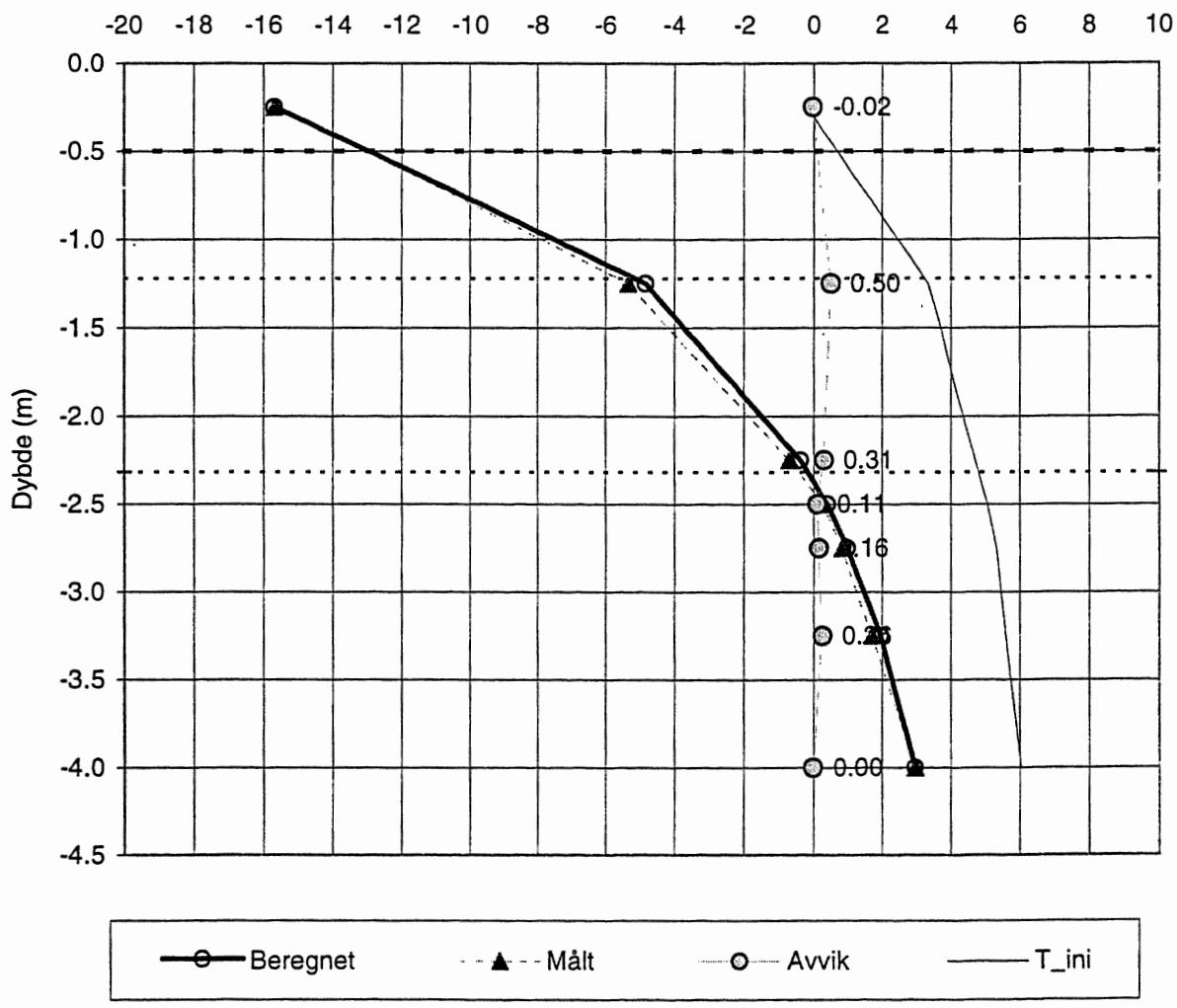
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34	Målt frost- nedtrengning: -2.43
-4.00	2.880	2.876	0.00	6.034	Beregnet frost- nedtrengning: -2.401
-3.25	1.800	1.642	0.16	5.579	Beregn. Gj.frysing: T_steg 91
-2.75	0.820	0.787	0.03	5.319	Dag 124
-2.50	0.245	0.244	0.00	5.063	
-2.25	-0.501	-0.693	0.19	4.690	
-1.25	-4.610	-4.926	0.32	3.338	
-0.25	-2.250	-2.250	0.00	-0.199	

Målestreng B3
Analyse B317 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

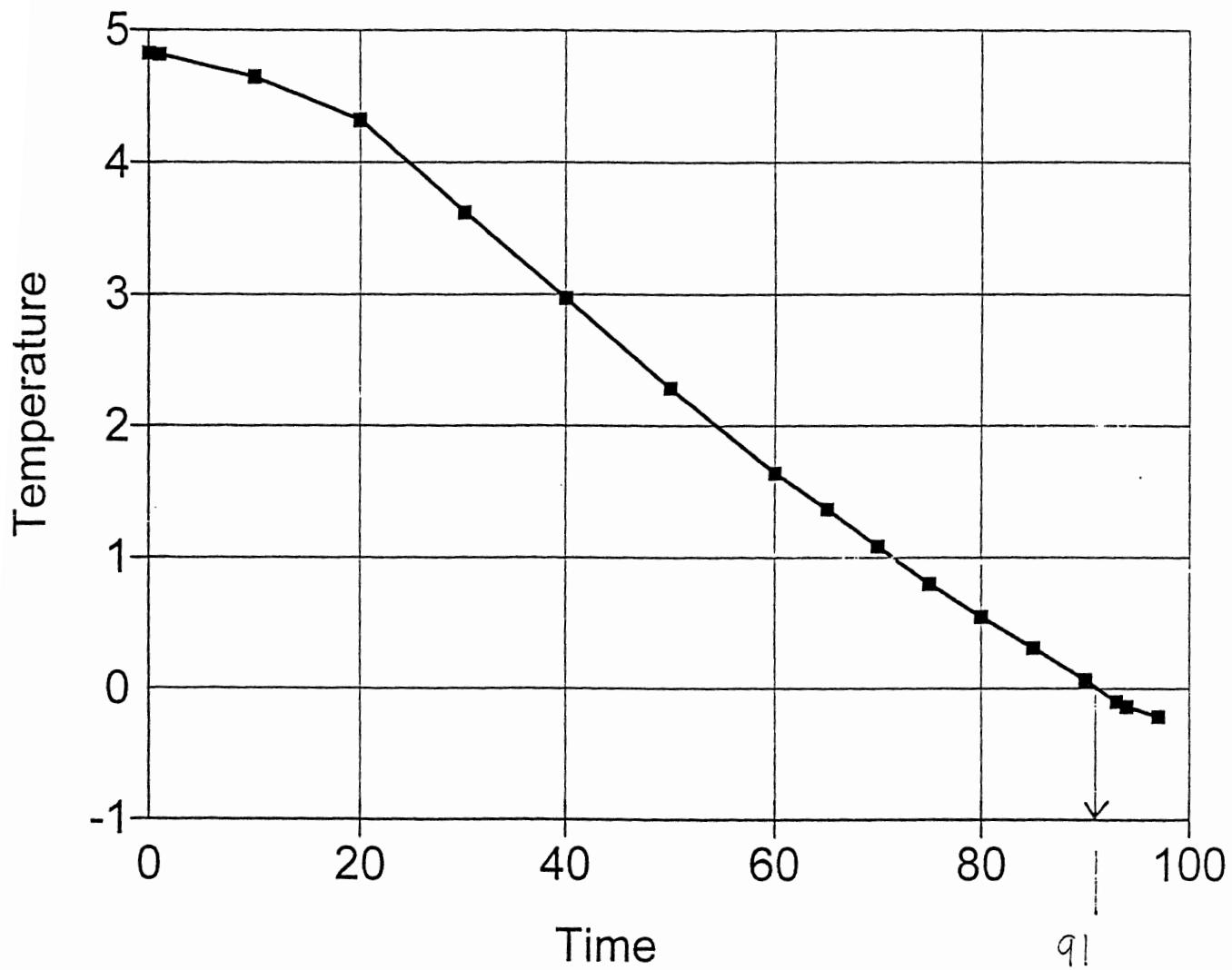


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.960	2.963	0.00	6.034
-3.25	1.960	1.698	0.26	5.579
-2.75	0.983	0.821	0.16	5.319
-2.50	0.390	0.276	0.11	5.063
-2.25	-0.381	-0.686	0.31	4.690
-1.25	-4.830	-5.333	0.50	3.338
-0.25	-15.700	-15.679	-0.02	-0.199

Målestreng B3
Analyse B317 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time - B317



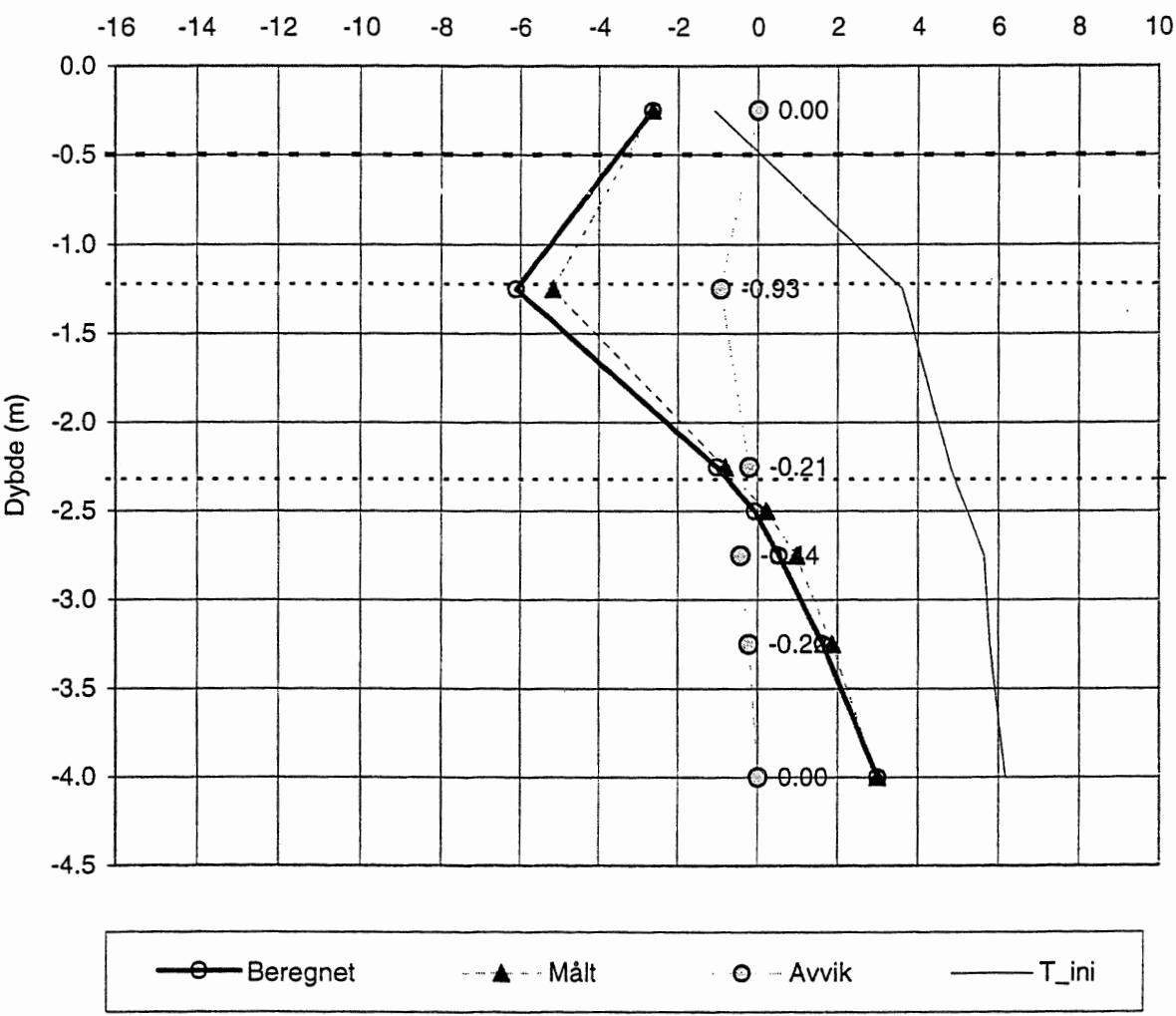
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	2.990	2.989	0.00	6.173
-3.25	1.630	1.853	-0.22	5.783
-2.75	0.523	0.963	-0.44	5.637
-2.50	-0.084	0.216	-0.21	5.217
-2.25	-1.030	-0.82	-0.21	4.801
-1.25	-6.110	-5.176	-0.93	3.601
-0.25	-2.660	-2.656	0.00	-1.102

Målt frost-
nedtrengning:
-2.42

Beregnet frost-
nedtrengning:

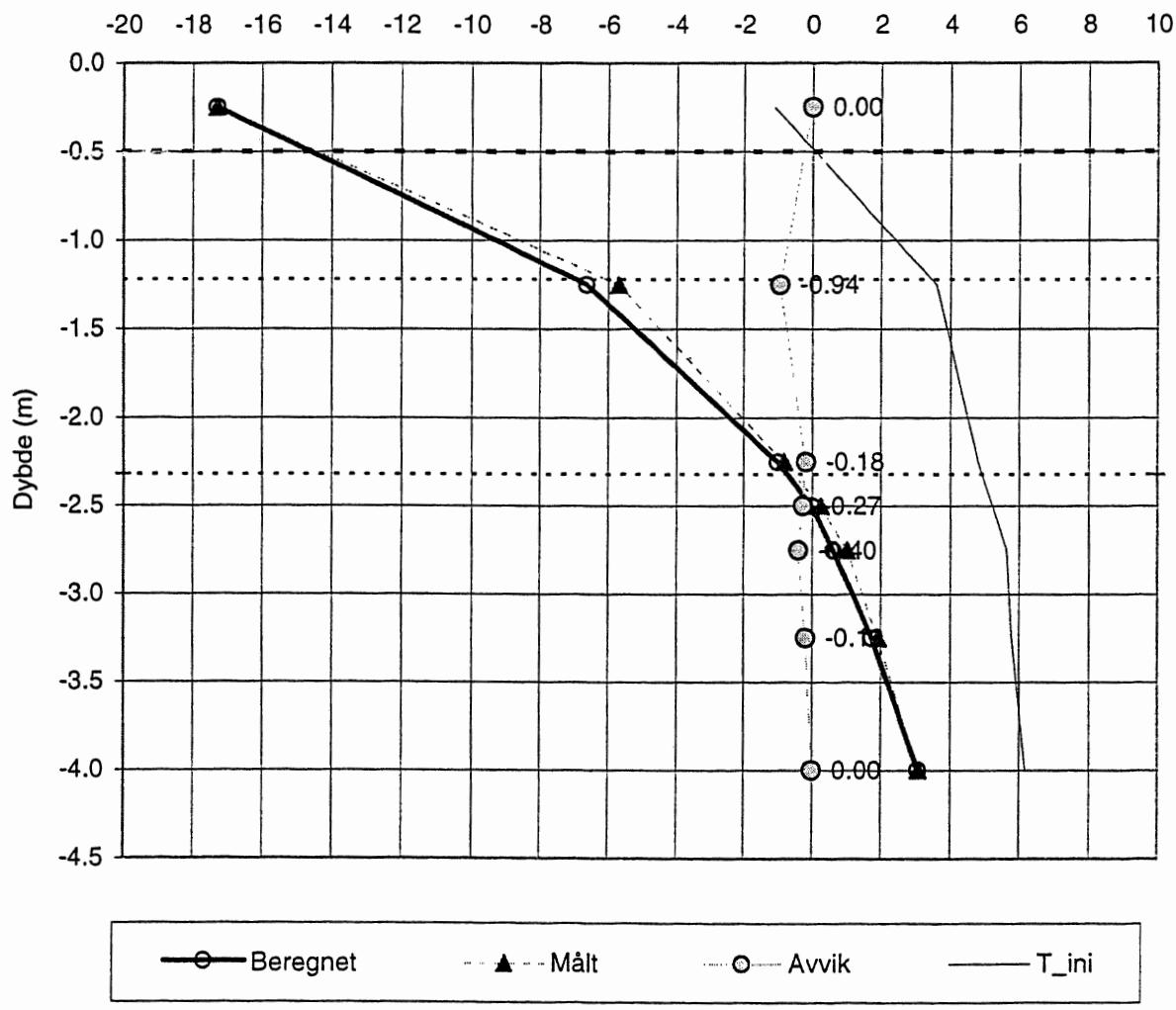
Beregn. Gj.frysing:
T_steg 76
Dag 109

Målestreng B4
Analyse B417 - Dag 130
Målt og beregnet temperaturprofil

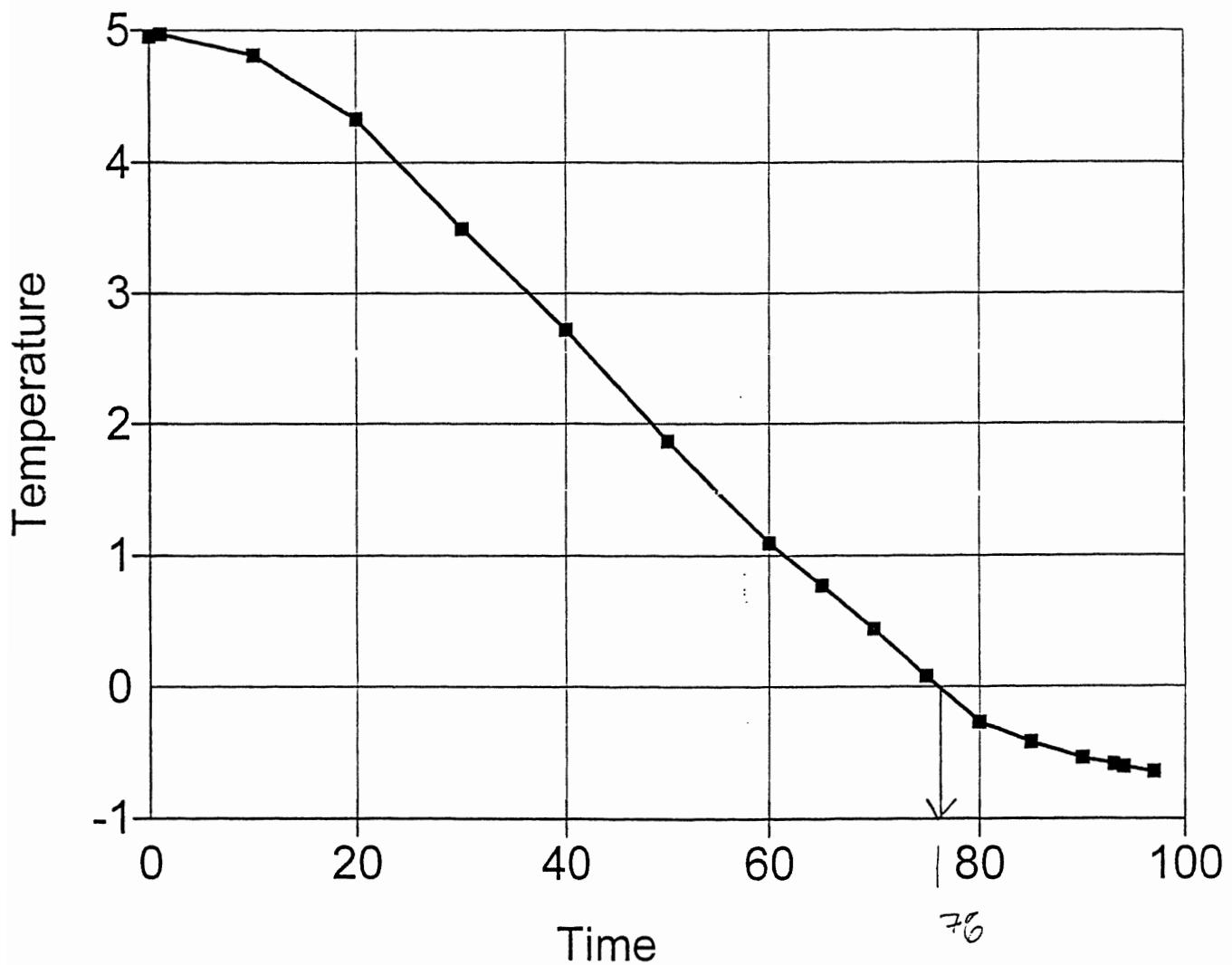


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-4.00	3.070	3.072	0.00	6.173
-3.25	1.740	1.925	-0.19	5.783
-2.75	0.609	1.008	-0.40	5.637
-2.50	-0.020	0.250	-0.27	5.217
-2.25	-0.996	-0.819	-0.18	4.801
-1.25	-6.640	-5.705	-0.94	3.601
-0.25	-17.300	-17.300	0.00	-1.102

Målestreng B4
Analyse B417 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time - B417



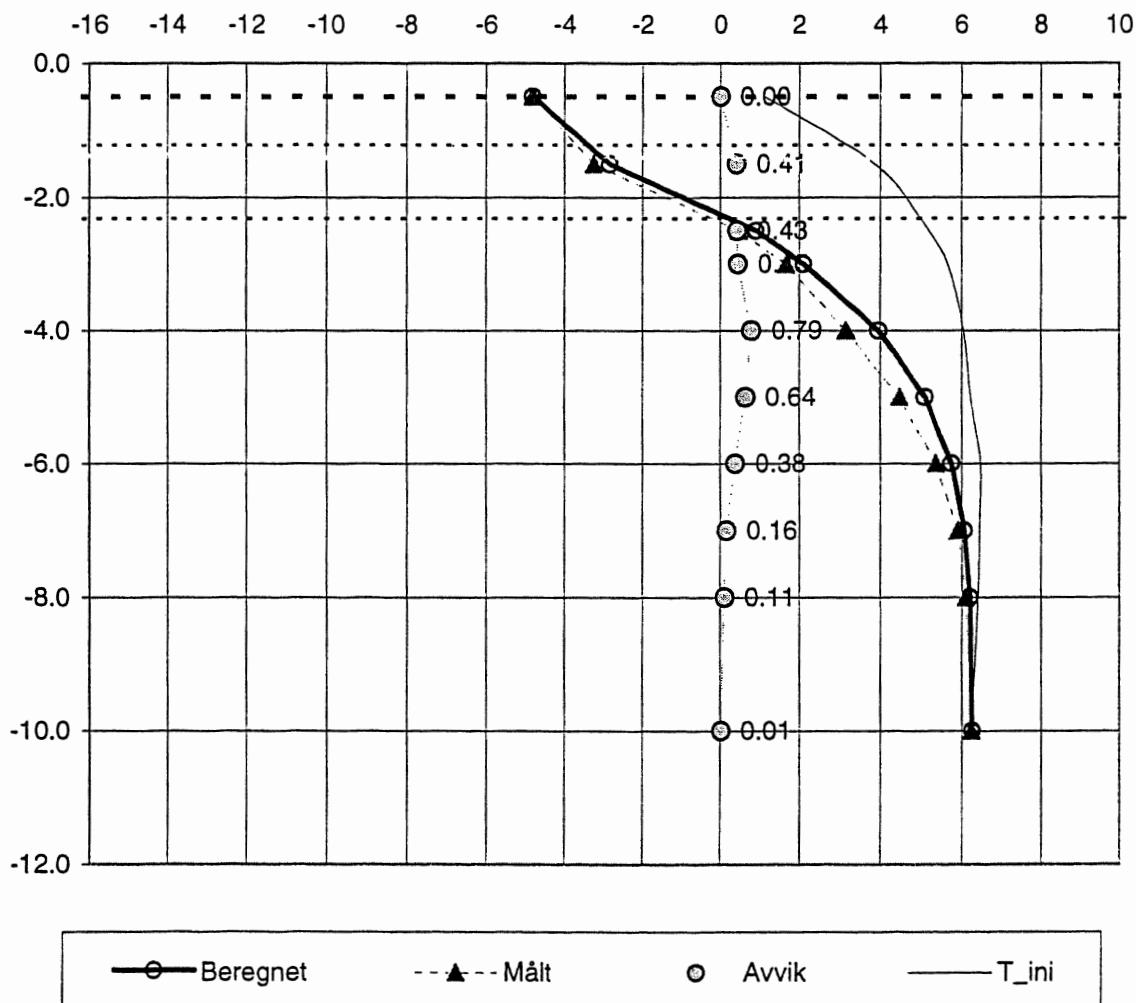
Dybde m	Beregnet dag 130	Målt dag 130	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.245	0.01	6.260
-8.00	6.210	6.102	0.11	6.422
-7.00	6.060	5.9	0.16	6.447
-6.00	5.740	5.357	0.38	6.481
-5.00	5.090	4.454	0.64	6.228
-4.00	3.950	3.158	0.79	6.045
-3.00	2.100	1.650	0.45	5.655
-2.50	0.900	0.472	0.43	5.181
-1.50	-2.850	-3.263	0.41	3.876
-0.50	-4.830	-4.830	0.00	1.135

Målt frost-
nedtrengning:
-2.365

Beregnet frost-
nedtrengning:
-2.195

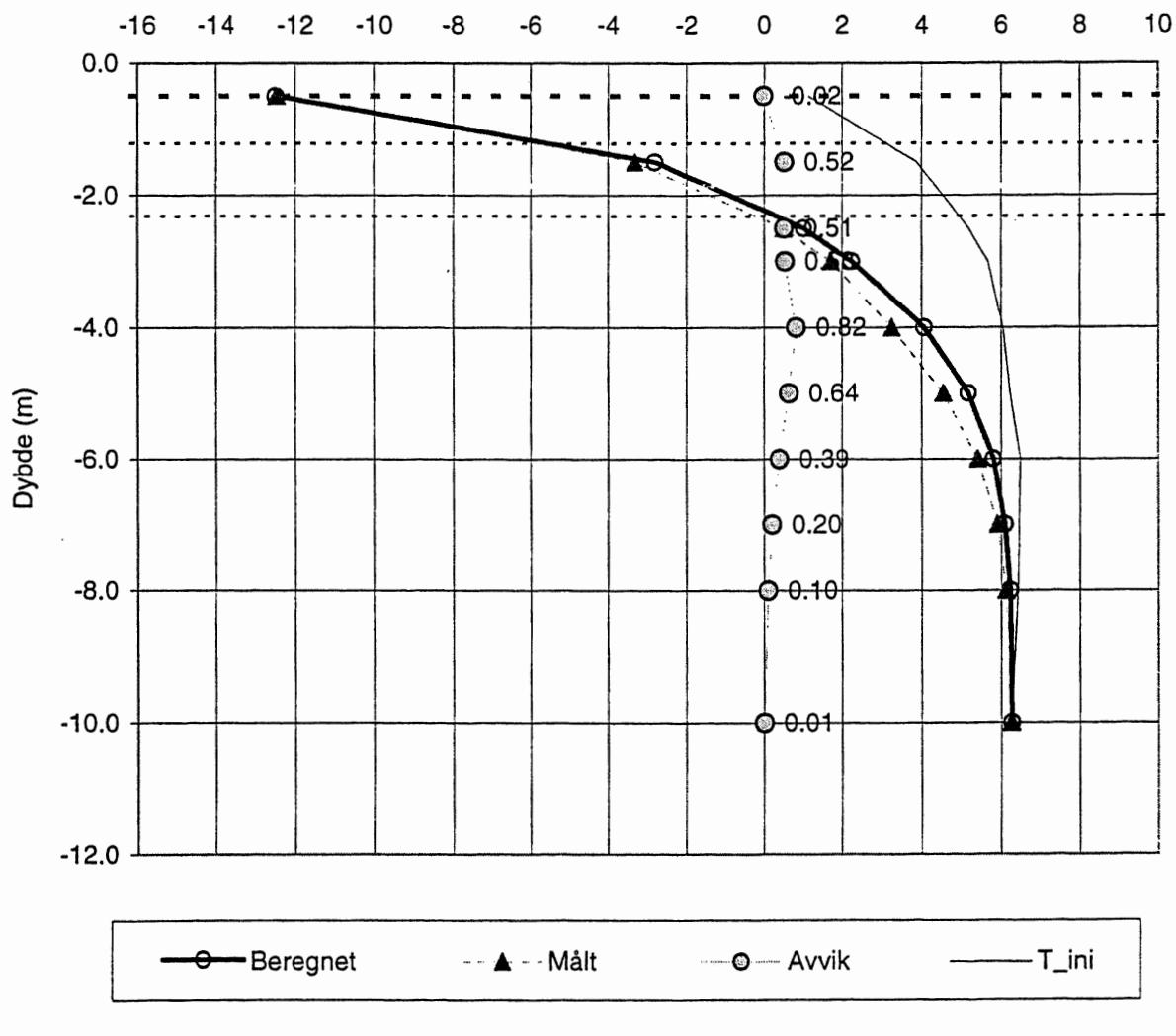
Beregn. Gj.frysing:
Ingen gj. Frysing

Målestreng B6 Analyse B617 - Dag 130 Målt og beregnet temperaturprofil

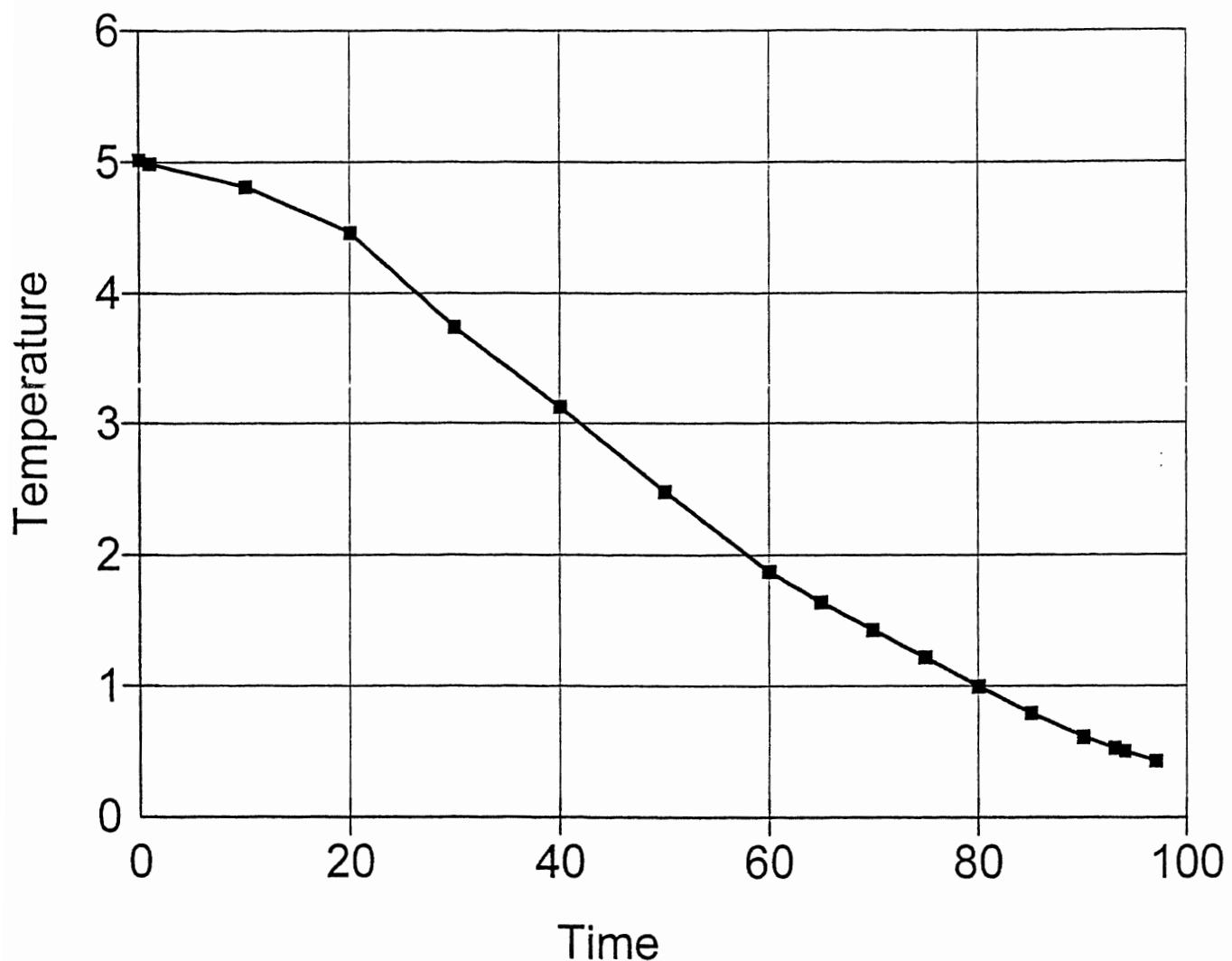


Dybde m	Beregnet dag 126	Målt dag 126	Avvik $T_b - T_m$	Initial temp. dag 34
-10.00	6.260	6.251	0.01	6.260
-8.00	6.220	6.118	0.10	6.422
-7.00	6.090	5.894	0.20	6.447
-6.00	5.790	5.401	0.39	6.481
-5.00	5.170	4.535	0.64	6.228
-4.00	4.060	3.236	0.82	6.045
-3.00	2.230	1.699	0.53	5.655
-2.50	1.010	0.496	0.51	5.181
-1.50	-2.820	-3.337	0.52	3.876
-0.50	-12.500	-12.479	-0.02	1.135

Målestreng B6
Analyse B617 - Dag 126
Målt og beregnet temperaturprofil



Temperature vs. Time. B617



Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Oppdragsgiver/Client NSB Gardermobanen A/S	Dokument nr/Document No. 980011-2
Kontraktsreferanse/ Contract reference	Dato/Date 18 desember 1998
Dokumenttittel/Document title Frostforsøk – Leirsund	Distribusjon/Distribution <input type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None
Prosjektleder/Project Manager Lars Andresen	
Utarbeidet av/Prepared by Lars Andresen Elmo DiBiagio	
Emneord/Keywords Railway, Frostaction, Embankement	
Land, fylke/Country, County Akershus	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Lillestrøm	Feltnavn/Field name
Sted/Location Leirsund	Sted/Location
Kartblad/Map 1914 – 4	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates 32 V PM 157 515	

Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001

Kon- trollert av/ Reviewed by	Kontrolltype/ Type of review	Dokument/Document		Revisjon 1/Revision 1		Revisjon 2/Revision 2	
		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed	
		Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.
AI	Helhetsvurdering/ General Evaluation *	17/12-98	A. AaL.				
	Språk/Style						
	Teknisk/Technical - Skjønnl./Intelligence - Totalt/Extensive - Tverrfaglig/ Interdisciplinary						
	Utforming/Layout						
LA	Slutt/Final	17/12-98	JN				
JGS	Kopiering/Copy quality	17/12-98	SS.				

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/
On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 17/12-98	Sign. J. AaL.
--	-----------------------	------------------