

Forløbig udgave

FORTSATTE MALINGER PÅ
500 M³ FØRSØGSVARMELAGER

KURT KIELSGAARD HANSEN
PREBEN NORDGAARD HANSEN
VAGN USSING

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

RAPPORT NR. 85-2

JANUAR 1985

RESUMÉ

Denne rapport omhandler det fortsatte måleprogram med tilhørende simuleret drift og verificering af beregningsprogram for 500 m³ forsøgsvarmelageret på DTH's forsøgsareal.

Først omtales edb-programmet til beregning af temperaturledning i jordvolumen og varmetab fra lager gennem bund, skråside og top. Dernæst omtales den udførte simulerede drift bestående af 8 oplade- og afladecykler med tilhørende verificering af beregningsprogrammet.

Det med beregningsprogrammet fundne varmetab fra lageret samt energimængden til opvarmning af lagervandet i de 8 opvarmningsperioder sammenholdes med den indkøbte gasmængde korrigeret med kedelsystemets nyttevirkning.

Sidst i rapporten beskrives dels observationer og beregninger af fugtbevægelsen i det flydende låg, herunder udtagning af prøver til fugtbestemmelse, dels jordfugtighedsmålinger ved varmelager.

<u>Indholdsfortegnelse</u>	side
1. INDLEDNING	1
2. EDB-PROGRAMMET FORSØGSVARMELAGER	2
2.1 Numerisk beskrivelse af varmetransport i jord .	4
2.2 Randbetingelser	11
2.2.1 Jordoverfladen	11
2.2.2 Temperaturerne i randnetpunkterne i jorden	11
2.3 Varmetab fra lager	12
2.3.1 Bundtab	12
2.3.2 Tab fra skråside	12
2.3.3 Toptab	12
2.4 Inddata til programmet	13
2.4.1 Jordmålepunkternes placering i differensnettet	13
2.4.2 Todimensional interpolation	13
2.4.3 Differensnet og jorddata	16
2.5 Uddata fra programmet	17
3. SIMULERET DRIFT	20
3.1 Verificering af edb-programmet	22
4. ENERGIBALANCE FOR MÅLEPERIODEN	23
4.1 Totalnyttevirkningsgrad for kedelsystem, korttidsmåling	23
4.2 Totalnyttevirkningsgrad for kedelsystem, langtidsmåling	24
4.3 Energibalance indtil 16/9 1984	25
5. FUGTBEVÆGELSER I DET FLYDENDE LÅG	27
6. JORDFUGTIGHEDSMÅLINGER VED VARMELAGER	28
7. KONKLUSION	31
8. LITTERATUR	33

Appendix 1.	Reviderede tegninger	35
Appendix 2.	Målte og beregnede temperaturer i jord- målepunkterne	42
Appendix 3.	Prøveattest for KBE-Tagisoleringsplade	93
Appendix 4.	Måleresultater fra jørdfugtighedsmålinger ved varmelager	96

1. INDLEDNING

I fortsættelse af EFP-82 projektet Sæsonvarmelager og det hertil hørende EF-arbejde, der blev afsluttet 30. juni 1983, omhandler denne rapport projektets forlængede måleprogrammer indtil midten af september 1984.

Der er i denne rapportering altid fuld temperaturopblanding af lagervandet af hensyn til en nøjagtig verificering af edb-programmet. Efter denne måleperiodes afslutning er der yderligere udført en cyklus med stratificeret drift, se [5], der vil være den almindelige driftsform i kommercielle lagre.

Rapporten skal ses som en forlængelse af den ovenfor omtalte rapportering, se [1]. De figurer og tegninger fra [1], der ikke er ændret, er ikke medtaget i denne rapport, men de forudæsttes kendte ved læsningen af rapporten.

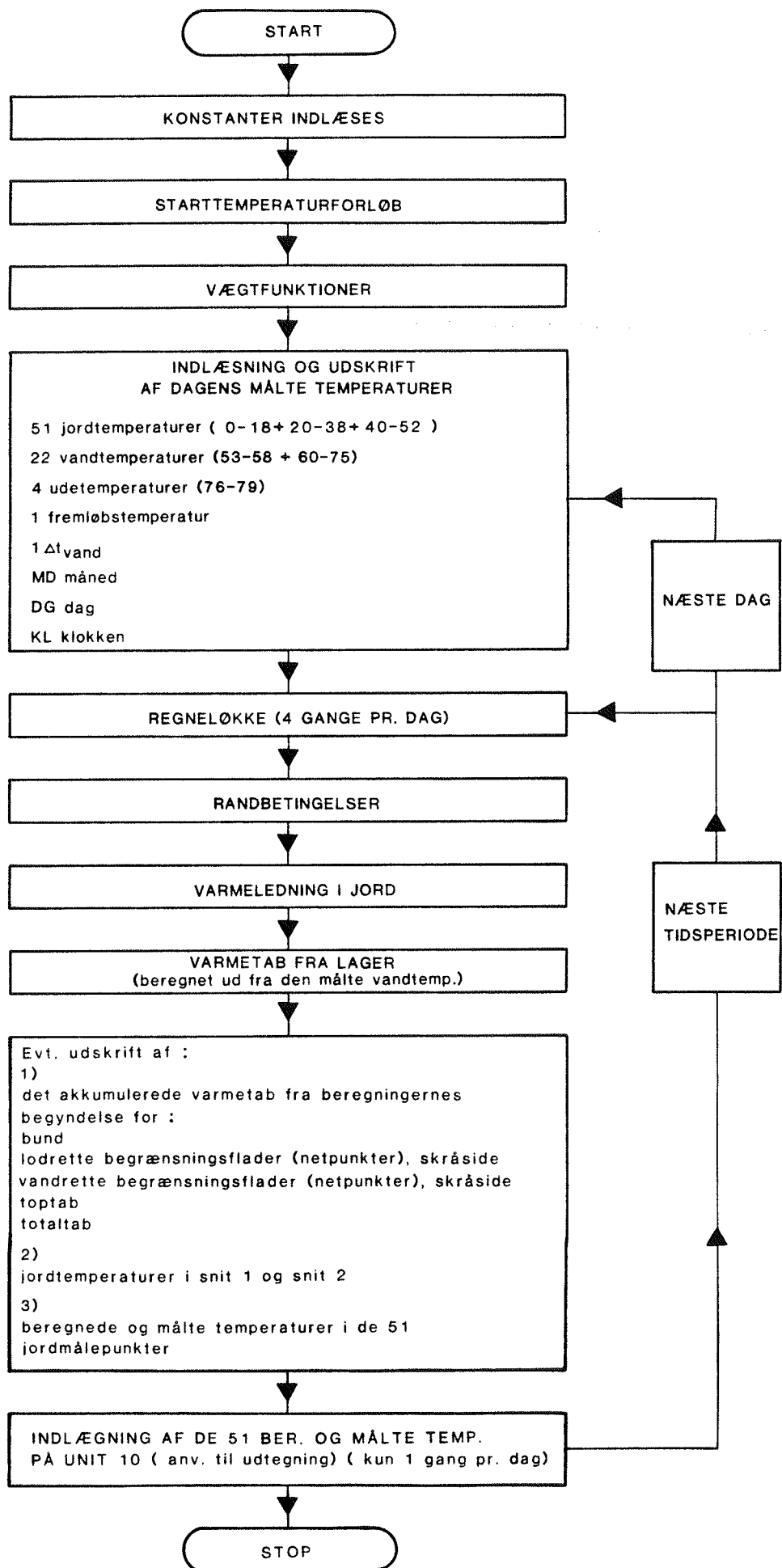
Iøvrigt bygger rapporten delvis på materiale, der har været offentliggjort tidligere, se [6], [7], [8], [9] og [10].

2. EDB-PROGRAMMET FORSØGSVARMELAGER

Ved Laboratoriet for Varmeisolering arbejdes med udvikling af såvel analytiske som numeriske beregningsmetoder for simulering af varmetabet fra termiske sæsonvarmelagre. Da den analytiske metode ikke er generelt anvendelig, idet den f.eks. forudsætter konstante temperaturuafhængige termiske stofdata ned gennem jorden, vil denne metode ikke blive omtalt yderligere i denne fremstilling.

I de numeriske beregninger anvendes "endelige differencers metode" til beregning af varmetransporten i jorden. Med udgangspunkt i et eksisterende EDB-program til LfV's 540 m³ FORSØGSVARMELAGER [1] vil den tredimensionale model for 1/8 af lager og omgivende jord blive gennemgået. I denne model er det muligt i inddata til EDB-programmet at specificere forskellige termiske egenskaber ned gennem jorden.

Ud fra den målte lagertemperatur (der er i denne rapportering altid fuld temperaturopblanding af lagervandet) og den målte udetemperatur beregner modellen temperaturen i forskellige dybder i det omgivende jordvolumen som funktion af tiden samt opsummerer varmetabet fra lageret. Derefter udskrives varmetabet, jordtemperaturer i snit 1 og snit 2 samt beregnede og målte temperaturer i de 51 jordmålepunkter. Et oversigtsdiagram over programmet er vist på figur 1.



FIGUR 1. OVERSIGTSDIAGRAM - FORSØGSVARMELAGER - SAMKØRING

2.1 Numerisk beskrivelse af varmetransport i jord

Der tages udgangspunkt i Fouriers instationære varmeledning-ligning:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

idet $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$ er temperaturledningstallet og λ regnes uafhængig af temperaturen T . (λ er varmeledningsevne og ρc_p er specifik varmekapacitet).

Den benyttede "endelige differencers metode" er beskrevet nøjere i [2]. Der startes med indlæggelse af differensnetpunkter i jordvolumenet, se figur 2, figur 3 og figur 4 (netpunktet er midtpunkt i det tilsvarende volumenelement).

På figurerne er netpunkterne lagt tættest nær jordoverflade og lager, fordi der her "sker mest"; netpunktsafstanden $\Delta x = \Delta y$ er her 0,4 m og $\Delta z = 0,3$ m. Dybere og længere væk fra lageret forøges afstandene.

Til starttidspunktet må temperaturerne i netpunkterne kendes. Endvidere må man have givet randbetingelser.

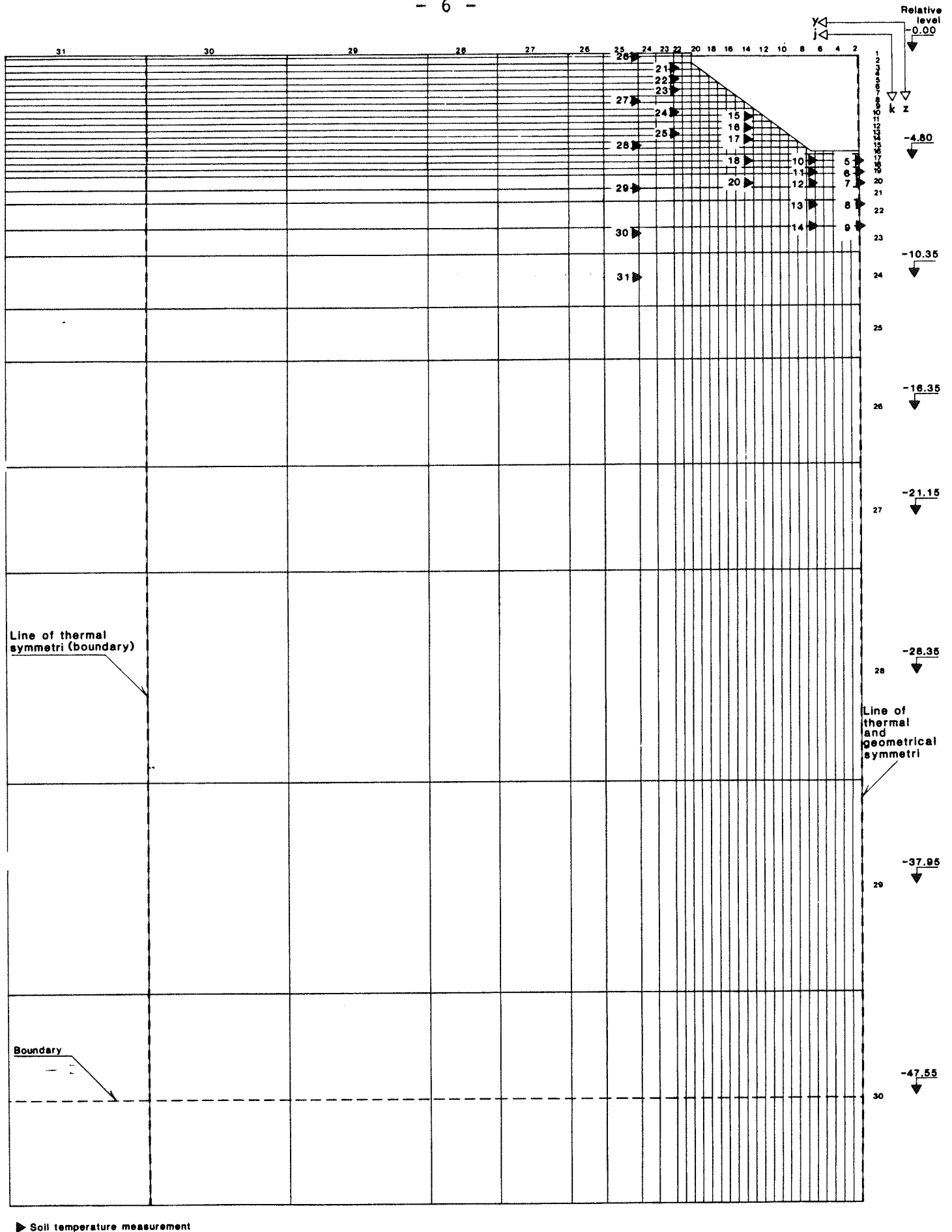
Regningerne udføres nu på den måde, at temperaturen i et netpunkt (pkt. (i,j,k)) til tiden $t = t_1 + \Delta t$ beregnes ud fra den kendte temperatur i netpunktet selv og i 6 nabonetpunkter til tidspunktet $t = t_1$, idet følgende ligning (1) anvendes:

$$\text{Vol} \cdot \rho c_{p, \text{jord}} \cdot \frac{\Delta T_t}{\Delta t} = \sum A \cdot \frac{\Delta T_{\text{akseretn.} = i, j \text{ el. } k}}{M} \quad (1)$$

- Lign. (1) siger: Ændringen i et volumenelements temperatur pr. tidsenhed er lig med summen af varmestrømmene gennem elementets begrænsningsflader.

Princippet i programmeringen af ligning (1) vises ved følgende eksempel for varmestrømmen over volumenelementets "venstre" begrænsningsflade. Figur 5 viser det betragtede pkt. (i,j,k).

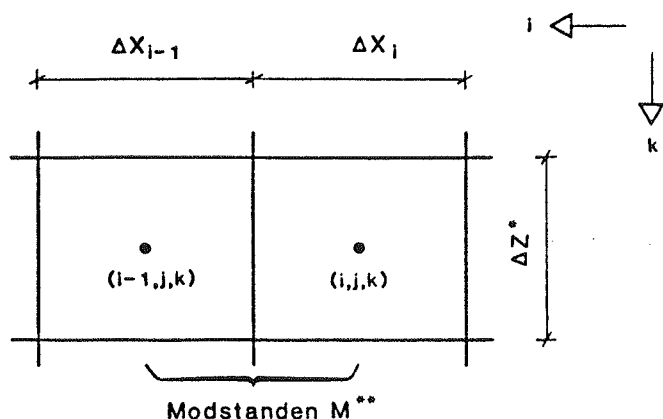
SLH Nat fig 2



Figur 3. Netpunkter. Snit D - D (række 1).



Figur 4. Netpunkter. Snit E-E (række 2).



* Hele rækken har varmeledningsevnen λ .

$$** M = \frac{\Delta x_i}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta x_{i-1}}{2 \cdot \lambda_k}$$

Figur 5. Modstanden mellem 2 volumenelementer.

Anvendes ligning (1) på denne begrænsningsflade fås:

$$\text{Vol} \cdot \rho c_{p,k} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = A \cdot \frac{\Delta T_{\text{akseretn.} = i}}{M}$$

⇒

$$\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \rho c_{p,k} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = \Delta y \cdot \Delta z \cdot \frac{\Delta T_{\text{akseretn.} = i}}{\frac{\Delta x_i}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta x_{i-1}}{2 \cdot \lambda_k}}$$

⇒

$$\Delta T_t = \frac{\Delta t \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta T_{\text{akseretn.} = i}}{\left(\frac{\Delta x_i}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta x_{i-1}}{2 \cdot \lambda_k} \right) \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \rho c_{p,k}}$$

⇒

$$T_i^{t_1 + \Delta t} - T_i^{t_1} = H_{l,i,j,k} \cdot (T_{i-1}^{t_1} - T_i^{t_1}) \quad (2)$$

hvor $H_{l,i,j,k}$ er vægtfunktionen for punkt (i,j,k) 's "venstre" begrænsningsflade. Tilsvarende regninger gælder for de øvrige 5 begrænsningsflader, og totalt fås følgende vægtfunktioner:

i - akse:

$$\left. \begin{array}{l} H1 \\ H2 \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{\rho c_{p,k} \left(\frac{\Delta x_i}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta x_{i+1}}{2 \cdot \lambda_k} \right) \Delta x_i} \quad (2a)$$

j - akse:

$$\left. \begin{array}{l} H3 \\ H4 \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{\rho c_{p,k} \left(\frac{\Delta y_j}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta y_{j+1}}{2 \cdot \lambda_k} \right) \Delta y_j} \quad (2b)$$

k - akse:

$$\left. \begin{array}{l} H5 \\ H6 \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{\rho c_{p,k} \left(\frac{\Delta z_k}{2 \cdot \lambda_k} + \frac{\Delta z_{k+1}}{2 \cdot \lambda_{k+1}} \right) \Delta z_k} \quad (2c)$$

Den endelige ligning til beregning af temperaturen $T_{i,j,k}^{t_1+\Delta t}$ i punkt (i,j,k) til tidspunktet $t = t_1 + \Delta t$ har følgende udseende:

$$\begin{aligned} T_{i,j,k}^{t_1+\Delta t} = & T_{i,j,k}^{t_1} + H1 \cdot (T_{i-1,j,k} - T_{i,j,k}) + H2 \cdot (T_{i+1,j,k} - T_{i,j,k}) \\ & + H3 \cdot (T_{i,j-1,k} - T_{i,j,k}) + H4 \cdot (T_{i,j+1,k} - T_{i,j,k}) \\ & + H5 \cdot (T_{i,j,k-1} - T_{i,j,k}) + H6 \cdot (T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}) \quad (3) \end{aligned}$$

Det skal bemærkes, at leddene på højre side af lighedstegnet udregnes på grundlag af temperaturerne til det kendte tidspunkt $t = t_1$.

På denne måde beregnes temperaturerne i alle de indre netpunkter. Ud fra disse lige beregnede temperaturer på tidsniveauet $t = t_1 + \Delta t$ kan temperaturerne på tidsniveauet $t = t_1 + 2 \cdot \Delta t$ beregnes, o.s.v.

I [2] er det vist, at regningerne bliver stabile, når følgende stabilitetskriterium er opfyldt:

$$\Delta t_s \leq \frac{1}{2\alpha \left(\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2} \right)} \quad (4)$$

Indsættes i ligning (4) $\alpha = 20 \text{ m}^2/\text{år}$ fås Δt_s i år:

$$\Delta t_s \leq \frac{1}{2 \cdot 20 \left(\frac{1}{0,4^2} + \frac{1}{0,4^2} + \frac{1}{0,3^2} \right)} = 0,001059 \text{ år}$$

Gennemføres beregningerne 4 gange pr. døgn bliver

$$\Delta t = \frac{1}{4 \cdot 365} = 0,000685 \text{ år} \quad (\rightarrow \alpha_{\max} = 30 \text{ m}^2/\text{år})$$

Da $\Delta t \leq \Delta t_s$ ses det, at fire gennemregninger pr. døgn er tilstrækkeligt til at sikre stabile regninger.

2.2 Randbetingelser

De randbetingelser, der skal kendes, er som følger:

2.2.1 Jordoverfladen

Skillefladetemperaturen mellem jord og luft (for $k = 1$) følger udeluftens temperatur T_{ude} (målt middeltamperatur i tidskridtet $\Delta t = 6$ timer).

Temperaturen i differensnetpunkterne til starttidspunktet i de enkelte lag i jorden udregnes efter lign. (17) i [3]:

$$TEMP = \Delta T_u \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\omega/2\alpha}} \left(\cos(\omega t - \phi - z \cdot \sqrt{\omega/2\alpha}) \right) + T_o \quad (6)$$

hvor z er dybden i meter under jordoverfladen. For amplituden ΔT_u indsættes $\Delta T_u = 9,2^\circ\text{C}$, og for middelværdien T_o indsættes $11,6^\circ\text{C}$,^{*)} da lagersiderne igennem flere måneder i byggeperioden blev kraftigt opvarmede af stærk solstråling. Med en bølgelængde på 1 år bliver perioden $\omega = 2\pi$, og faseforskydningen ϕ udregnes, så cosinusleddet bliver $\cos(\omega t - \phi) = 1$ den 1. oktober (måleperiodens startdato).

2.2.2 Temperaturerne i randnetpunkterne i jorden

De lodrette begrænsningsflader for jordvoluminet indlægges som termiske symmetriflader ved at kræve adiabatisk forhold, som opnås ved at kræve, at de symmetriske nabopunkter til fladerne har samme temperatur.

Nedadtil ($k=30$) regnes med et varmedræn; temperaturen regnes konstant $T_{k=30} = 9,1^\circ\text{C}$. (se målepkt. 31 dag 1-12).

**) Denne værdi af T_o giver bedre overensstemmelse mellem målinger og beregninger for dag (1-20)
se) Ved længstidsmålinger og beregninger for $T_o = 11,6^\circ\text{C}$*

2.3 Varmetab fra lager

I hvert tidsskridt Δt beregnes varmetab fra lagerets bund, skråside (lodrette og vandrette begrænsningsflader) samt top. Derefter akkumuleres disse tab og kan sammen med total-tabet evt. udskrives.

I programmet anvendes 2 hjælpefunktioner, en funktion for varmetab i j-aksens retning (vandret) og en funktion i k-aksens retning (lodret).

I j-aksens retning:

$$FUNKJ_k = H^3_{30,j1+1,k} \cdot \rho c_{p,k} \cdot \Delta x_{30} \cdot \Delta y_{20} \cdot \Delta z_2 \quad (6)$$

I k-aksens retning:

$$FUNKK_k = H^5_{30,j1,k+1} \cdot \rho c_{p,k} \cdot \Delta x_{30} \cdot \Delta y_{20} \cdot \Delta z_2 \quad (7)$$

2.3.1 Bundtab

Bundtabet beregnes for bundelementerne v.hj.a. hjælpefunktionen (7).

$$SUM1 = (T_{i,j,k+1} - T_{lager}) \cdot FUNKK_k \quad (8)$$

2.3.2 Tab fra skråside

Skråsidetabet deles op i et tab gennem de vandrette begrænsningsflader og et tab gennem de lodrette begrænsningsflader.

De vandrette begrænsningsflader:

$$SUM2 = (T_{i,j1,k} - T_{lager}) \cdot FUNKJ_k \quad (9)$$

De lodrette begrænsningsflader:

$$SUM3 = (T_{i,j1-1,k+1} - T_{lager}) \cdot FUNKK_k \quad (10)$$

2.3.3 Toptab

Toptabet beregnes med følgende udtryk:

$$TOPTAB = \frac{\Delta t \cdot A \cdot (T_{ude} - T_{lager})}{\frac{e}{\lambda}} \quad (11)$$

hvor A er $30,7 \text{ m}^2$ ($1/8$ af totalt areal med udeluft), e er $0,5 \text{ m}$, og λ er $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

2.4 Inddata til programmet

Inddata er delt i 2 dele. Den første del anvendes ved fastlæggelsen af de 51 jordmålepunkters placering i det indlagte differensnet, og den anden del angiver netpunktsafstande i differensnettet samt jorddata m.m.

2.4.1 Jordmålepunkternes placering i differensnettet

Figur 2 viser målekædernes placering i plan, og figurerne 3 og 4 viser målepunkternes placering i henholdsvis snit 1 og snit 2.^{*)} For at angive et jordmålepunkts placering i differensnettet skal beliggenheden af punkt A (øvre højre netpunkt!) samt afstandene s_y og s_z kendes, se figur 6.

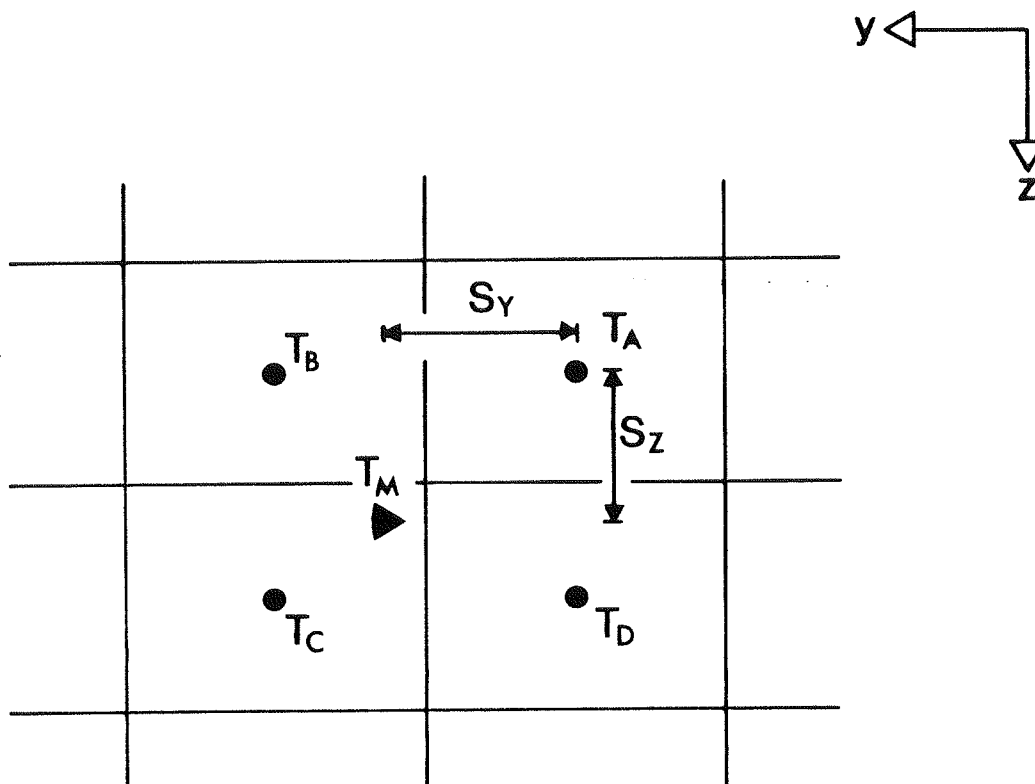
Figur 7 viser inddata til fastlæggelse af de 51 jordmålepunkters placering i det indlagte differensnet.^{*)}

2.4.2 Todimensional interpolation

For at finde den beregnede temperatur i målepunktet M udføres en todimensional interpolation med formlen (se også figur 6):

$$T_M = T_A + (T_B - T_A) \cdot s_y + (T_C - T_A) \cdot s_z + [(T_D + T_A) - (T_B + T_C)] \cdot s_y \cdot s_z \quad (12)$$

^{*)} Målekæden med målepunkterne 0-4 er ikke vist på fig. 3 da kæden er placeret symmetrisk om centrum med målekæden 10-14. Kurvebladene for punkterne 0-4 viser målingerne i disse punkter sammenlignet med de beregnede temperaturer i punkterne 10-14.



Note :

T_A ER TEMPERATUREN I NETPUNKT A

T_B ER TEMPERATUREN I NETPUNKT B

T_C ER TEMPERATUREN I NETPUNKT C

T_D ER TEMPERATUREN I NETPUNKT D

T_M ER TEMPERATUREN I MÅLEPUNKTET

S_Y ER DEN RELATIVE VANDRETTE AFSTAND TIL MÅLEPUNKTET FRA NETPUNKT A

S_Z ER DEN RELATIVE LODRETTE AFSTAND TIL MÅLEPUNKTET FRA NETPUNKT A

- 2 -

Figur 6. Todimensional interpolation mellem de 4 netpunkter.

Målepunkt nr.	i	j	k	Sy. 100	Sz. 100
1	30	6	19	75	20
2	30	6	20	75	15
3	30	6	21	75	35
4	30	6	22	75	50
5	30	1	17	50	50
6	30	1	19	50	20
7	30	1	20	50	15
8	30	1	21	50	55
9	30	1	22	50	50
10	30	6	17	75	50
11	30	6	19	75	20
12	30	6	20	75	15
13	30	6	21	75	35
14	30	6	22	75	50
15	30	14	10	10	55
16	30	14	12	10	50
17	30	14	14	10	10
18	30	14	17	10	50
19	30	6	17	75	50
20	30	14	20	10	15
21	30	22	3	30	30
22	30	22	4	30	90
23	30	22	6	30	66
24	30	22	9	30	95
25	30	22	13	30	30
26	30	24	1	50	50
27	30	24	8	50	25
28	30	24	15	50	10
29	30	24	20	50	30
30	30	24	22	50	70
31	30	24	24	50	0
32	26	6	17	75	50
33	26	6	19	75	20
34	26	6	20	75	15
35	26	6	21	75	55
36	26	6	22	75	50
37	18	14	10	10	55
38	18	14	12	10	50
39	0	0	0	0	0
40	18	14	14	10	10
41	18	14	17	10	50
42	18	14	20	10	15
43	10	22	3	30	30
44	10	22	4	30	90
45	10	22	6	30	66
46	10	22	9	30	95
47	10	22	13	30	30
48	8	24	1	46	50
49	8	24	3	46	25
50	8	24	5	46	0
51	8	24	8	46	25
52	8	24	11	46	50

NB. Målepunkt 0 her Lensvint
nr. 19.

Figur 7. Inddata til fastlæggelse af de 51 jordmålepunkters
placering i det indlagte differensnet.

2.4.3 Differensnet og jorddata

En udskrift af disse inddata er vist på figur 8. I hver dybde skal der således specificeres en varmeledningsevne λ og en varmekapacitet $\rho c_{p,jord}$. Her er specificeret $\lambda = 1,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ og $\rho c_{p,jord} = 0,25 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ i alle dybder svarende til temperaturledningstallet $\alpha = 22 \text{ m}^2/\text{år}$.

1					
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0721
3	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0721
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0721
5	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0720
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0719
7	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0718
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0717
9	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0716
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0715
11	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0714
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0713
13	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0712
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0711
15	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	0710
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	07 9
17	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	07 8
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	07 7
19	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	07 2
	0.30000	0.40000	1.60000	0.25E	07 2
21	0.60000	0.40000	1.60000	0.25E	07 2
	0.60000	0.40000	1.60000	0.25E	07 2
23	1.20000	0.40000	1.60000	0.25E	07 2
	1.20000	0.60000	1.60000	0.25E	07 2
25	2.40000	0.60000	1.60000	0.25E	07 2
	2.40000	1.60000	1.60000	0.25E	07 2
27	4.80000	1.60000	1.60000	0.25E	07 2
	4.80000	3.20000	1.60000	0.25E	07 2
29	9.60000	3.20000	1.60000	0.25E	07 2
	9.60000	6.40000	1.60000	0.25E	07 2
31	9.60000	6.40000	1.60000	0.25E	07 2
	9.60000	6.40000	1.60000	0.25E	07 2
33					
	Δz	Δy	λ	$\rho c_{p,jord}$	*

* J-aksens begrænsning med lageret (J1).

Figur 8. Inddata til angivelse af differensnet og jorddata.

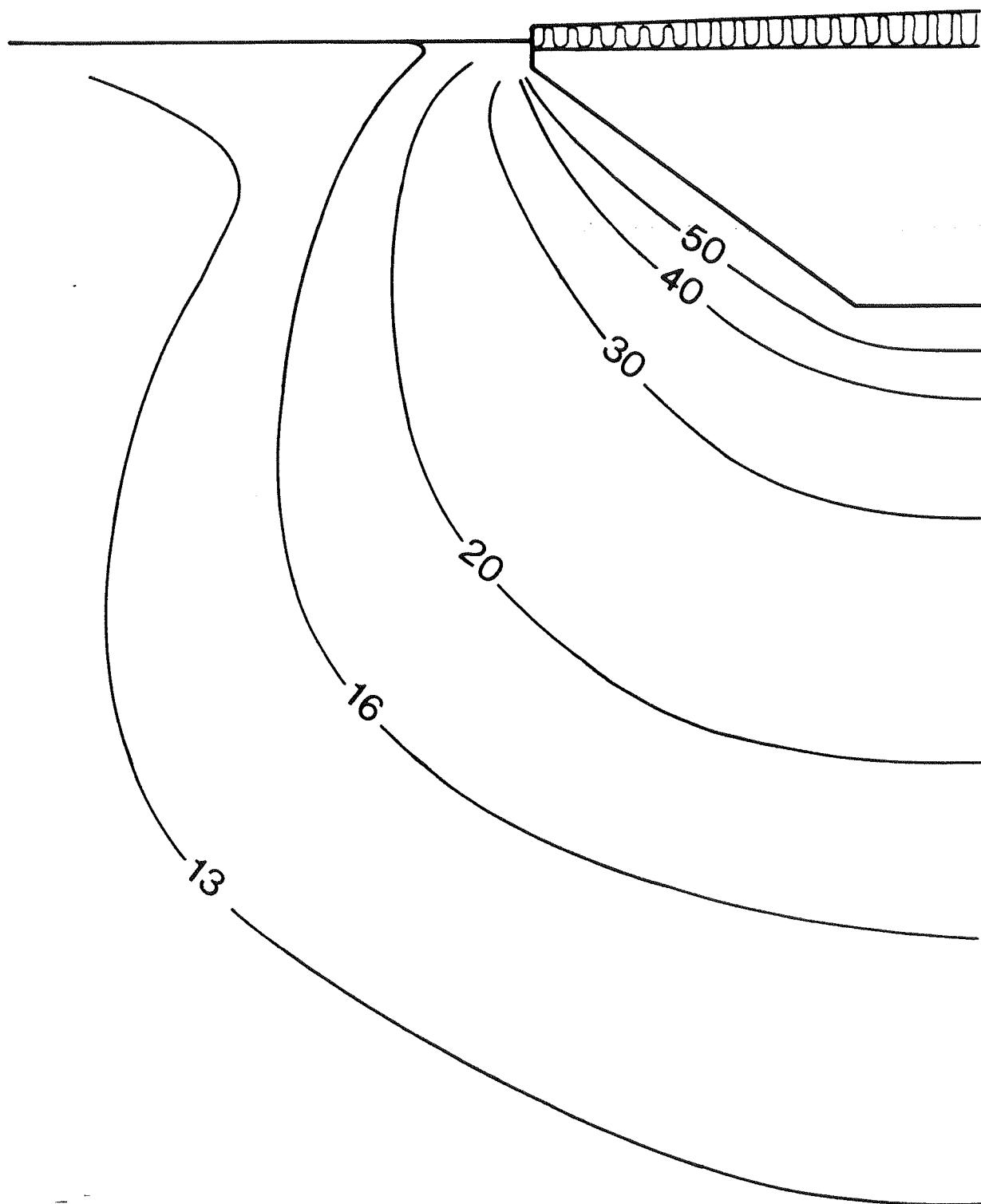
2.5 Uddata fra programmet

Et eksempel på uddata kan ses på figur 9. Først udskrives de målte middelværdier, der er indlæst fra dataloggersystemet samt dato og klokkeslæt.

Derefter udskrives TID, der er den forløbne tid i år fra beregningernes start, TLAGER, der er "dagens" lagermiddeltemperatur, samt de foran beskrevne varmetab (VARMETAB = totaltab). De nævnte TILFV og KOLEEFF er nogle hjælpeuddata, der kun blev anvendt ved projektets start.

Så udskrives temperaturerne i netpunkterne i snit 1 (og evt. i snit 2), så isotermerne kan optegnes, se figur 10. Endeligt udskrives den beregnede og den målte temperatur for målepunkterne i både snit 1 og snit 2 til sammenligning. Det skal bemærkes, at T65 er lig med den ovenfor nævnte TLAGER.

For hver målt og gennemregnet dag "lagres" TLAGER, VARMETAB samt målt og beregnet temperatur i de 51 jordmålepunkter for senere udtegnings.



Figur 10. Temperaturprofil for dag nr. 620. Snit 1.

3. SIMULERET DRIFT

Figur 11 viser den målte vandtemperatur i forsøgsvarmelageret og det beregnede akkumulerede varmetab fra lageret til jorden og gennem låget.

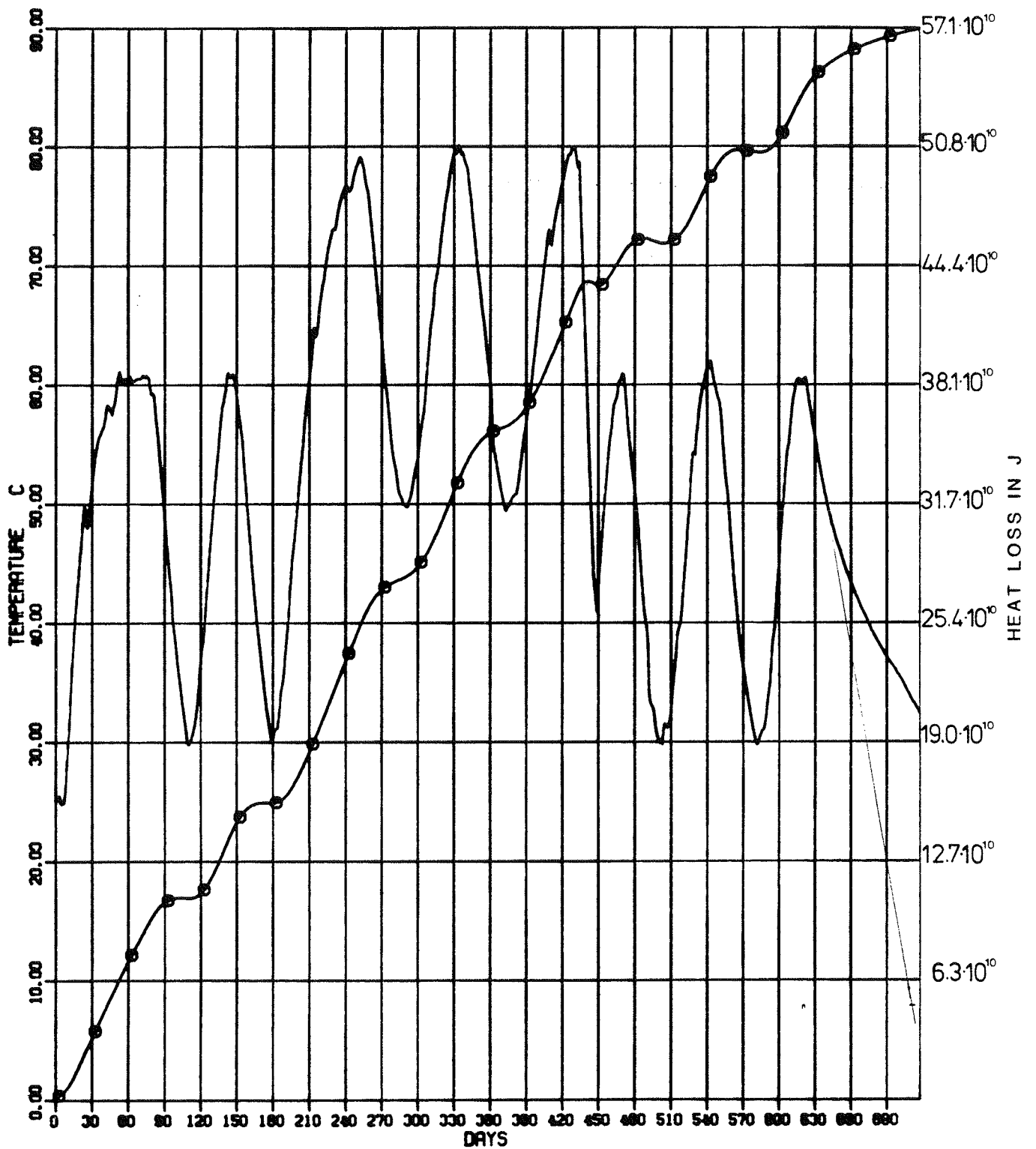
Den første opladningsperiode startede i september 1982 fra en vandtemperatur på 15°C. Det tog nogle uger, før kedelsystem og dataloggersystem var checket, og derfor blev den første temperaturstigning fra 15°C til 25°C ikke rapporteret.

På grund af den begrænsede tid til udførelse af eksperimenter blev det besluttet at accelerere oplade- og afladecyklerne fra 365 dage til 70 dage. Der blev ligeledes tilstræbt sinusformede cykler (nødvendig tilført effekt og temperaturindstilling blev beregnet med beregningsprogrammet).

De første cykler blev udført med en middeltemperatur på 45°C og en amplitude på 15°C. Det blev dog klart, at luftkøleren var for lille til dette temperaturniveau i sommerperioden, så middeltemperaturen blev i denne periode hævet til 65°C (for 3 cykler). Fødeledningerne til lageret var dog ikke dimensionerede til en fremløbstemperatur på 85°C, så både ø75 PEL ledningerne og ø75 ABS-HT ledningerne gik i stykker (dag nummer 433). En 90° bøjning blev repareret i PEL ledningerne (nærmest kedelhuset), mens alle ø75 ABS-HT ledningerne blev udskiftet med ø32 PEX. De reviderede tegninger findes i appendix 1. Af denne årsag er afkølingen mellem dag 433 og 450 kun varmetab til jord, varmetab gennem låg og påfyldt koldt vand.

De sidste cykler blev igen udført med en middeltemperatur på 45°C. Fra dag nummer 625 blev der hverken tilført eller udtaget varme fra lageret, så det er den "naturlige" afkøling, der er registreret fra denne dag.

I det næste kapitel opstilles regnskab for den indkøbte gasmængde, og det beregnede akkumulerede varmetab fra lageret til jorden og gennem låget anvendes i denne forbindelse.



Figur 11. Den målte vandtemperatur i forsøgsvarmelageret og det beregnede akkumulerede varmetab fra lageret til jorden og gennem låget.

3.1 Verificering af edb-programmet

Med de på figur 7 viste jorddata, der giver temperaturledningstallet $\alpha = 22 \text{ m}^2/\text{år}$, er målte og beregnede temperaturer i jorden sammenlignet, idet lagertemperaturen igennem de 717 rapporteringsdage har haft det på figur 9 viste forløb. Temperaturerne i de 51 temperaturmålepunkter i jorden er vist i appendix 2. Det ses her, at overensstemmelsen mellem målt og beregnet temperatur overalt er ganske god. Under lageret er der næsten sammenfald i de 4 øverste målepunkter (på nær toppen af "sinusserne" i målepunktet nærmest lageret) i hver målekæde, mens det nederste målepunkt i hver målekæde har en lille difference (i dette målepunkt har den uønskede vandindtrængen fra de defekte fødeledninger dog største effekt). Uden for lageret er der dog også rimelig god overensstemmelse i de dybe målepunkter.

Det er i edb-beregningerne forsøgt at hæve temperaturledningstallet henholdsvis i ler til $\alpha = 30 \text{ m}^2/\text{år}$ og i sand til $\alpha = 25 \text{ m}^2/\text{år}$, der især i lerlaget giver en bedre overensstemmelse med målingerne, men det herved forøgede varmetab (beregnet med programmet) er der ikke dækning for i gasindkøb. Som der redegøres for i kapitel 4.3 synes det valgte temperaturledningstal $\alpha = 22 \text{ m}^2/\text{år}$ at give et varmetab til jord og udeluft, der sammen med den totale varmemængde til opvarmning af lagervandet i de 8 opvarmningsperioder giver en rimelig overensstemmelse med den indkøbte gasmængde.

Den observerede uønskede vandindtrængen i de lodrette huller, hvor målekæderne er placeret, leder til den konklusion, at sådanne kæder må sikres mod fugtighedsbevægelser i de lodrette huller. En sådan sikring kan f.eks. etableres med en ca. 5 cm "bentonit-prop" mellem hvert målepunkt.

4. ENERGIBALANCE FOR MÅLEPERIODEN

4.1 Totalnyttevirkningsgrad for kedelsystem, korttidsmåling

En måneds tid efter, at kedelsystemet i kedelhuset blev taget i brug, blev totalnyttevirkningsgraden for kedelsystemet bestemt ved en korttidsmåling: I en kort tidsperiode måles den gennemsnitlige effekt tilført lageret, og ved at sammenholde den således tilførte varmemængde med den i kedlerne indfyrede gasmængde kan totalnyttevirkningsgraden for kedelsystemet bestemmes.

Ved at måle temperaturdifferencen (nøjagtighed $0,1^{\circ}\text{C}$) ved $\varnothing 75$ PEL i transmissionsledningernes gennemføring i betonvæggen ved lagerets top (se tegning 11A) negligeres varmetab i rørsystemet i kedelhuset og i transmissionsledningerne i jorden undervejs til lageret. Den opvarmede vandmængde i lagerkredsen måles med en ringstempelmåler (nøjagtighed 1%). Gasmåleren (nøjagtighed 0,1%) tilkobles den ene af de 2 gaskedler, og det antages, at de 2 gaskedler er identiske. Den indfyrede gas er kommerciel propan, og den nedre brændværdi opgives til $11.000 \text{ kcal/kg} = 21.600 \text{ kcal/Nm}^3$.

Korttidsmåling udført den 27/10 1982:

Måleperiode: 1 time 40 minutter = 6000 sec. ✓

Gasside:

Indfyret gasmængde i en kedel: $2,255 \text{ m}^3 = 1,353 \text{ m}^3/\text{h}$.

Denne gasmængde svarer til en tilført effekt pr. kedel baseret på den nedre brændværdi:

$$I = 21.600 \text{ kcal/Nm}^3 \cdot 1,353 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kcal} = 33,99 \text{ kW}.$$

- Vandside:

Opvarmet vandmængde i lagerkreds: $6,24 \text{ m}^3$

Gennemsnitlig temperaturdifferens: $12,45^{\circ}\text{C}$

Dette svarer til effekten:

$$E = \frac{6,24 \text{ m}^3}{6000 \text{ sec}} \cdot 988 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \cdot 12,45^{\circ}\text{C} = 53,47 \text{ kW}$$

Totalnyttevirkningsgraden for kedelsystemet bliver for to ens kedler:

$$\eta_k = \frac{E}{2 \cdot I} = \frac{53,47}{2 \cdot 33,99} = \underline{0,787}$$

4.2 Totalnyttevirkningsgrad for kedelsystem, langtidsmåling

Totalnyttevirkningsgraden for kedelsystemet bestemmes igen efter ca. 9 måneders drift. På dette tidspunkt sættes den indtil da indkøbte gasmængde i relation til den af dataloggersystemet til lageret opsummerede varmemængde (fundet v.hj.a. målt temperaturdifferens og volumenstrøm):

Forbrugt gasmængde fra start til 12/7 1983:

$$Q_1 = 17.051 \text{ kg} \cdot 11.000 \text{ kcal/kg} \cdot 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kcal} = 218.130 \text{ kWh}$$

Målt varmemængde tilført til lager: $Q_2 = 171.560 \text{ kWh}$

Totalnyttevirkningsgraden for kedelsystemet bliver:

$$\eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{171.560}{218.150} = \underline{0.787}$$

Det ses, at denne nyttevirkningsgrad er identisk med nyttevirkningsgraden fundet ved korttidsmåling.

Kontrol af købt gasmængde v.hj.a. timetællere på kedlerne:

Timetæller kedel 1 (12/7 1983): 3165,56 h

Timetæller kedel 2 (12/7 1983): 3779,55 h

Totalt for begge kedler: 6945,10 h

Ud fra den målte gasmængde den 27/10 1982 (korttidsmåling) kan den indfyrede mængde bestemmes:

$$V = 1,353 \text{ m}^3/\text{h} = 1,353 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1,16}{1,9} \text{ kg/m}^3 = \frac{2,52}{2,57} \text{ kg/h}$$

Dette giver en totalt målt gasmængde (baseret på timetællere)

$$GM = 6945,10 \text{ h} \cdot \frac{2,52}{2,57} \text{ kg/h} = \frac{17478}{17849} \text{ kg}$$

Dette tal ligger 4,6% over den fra start til 12/7 1983 indkøbte gasmængde på 17051 kg, men dels er gasrestmængden (ca. 900 kg, som er fradraget!) i gastanken den 12/7 1983 skønnet, og dels er timetællernes nøjagtighed ikke oplyst.

På dette grundlag findes, at overensstemmelsen mellem den indkøbte gasmængde og gasmængden fundet v.hj.a. timetællere på kedlerne er rimelig god.

4.3 Energibalance indtil 16/9 1984

- : Denne rapportering stopper 16/9 1984 (dag nr. 717 fra rapporteringens start), og der skal hermed forsøges opstillet en energibalance for den samlede rapporteringsperiode.

En oversigt over de 8 opvarmnings- og afkølingsperioder med de målte temperaturer og de beregnede varmetab til omgivelserne er opstillet ind fra computerens tidsstrømme (tabel 1):

Dato	Day nr.	Antal Opv. dage	Antal Afk. vand dage	Lager- vand temp.	Temp stign.	Temp fald	Akkum. varme- tab	Varme- tab v. Opv.	Varme- tab v. Afk.	Varmetab i Opv. per.	Varmetab i Afk. per
-	-	-	-	°C	°C	°C	$F \times 10^4$	$F \times 10^4$	$F \times 10^4$	MWh	MWh
1/10	1	75		25.2	35.6		0.000	0.115		25.6	
14/12	75			60.8			0.115				
18/1	110	37	35	29.8	31.1	31.0	0.134	0.046		10.2	4.2 ✓
24/2	147			60.9			0.180				
28/3	179	73	32	30.0	49.1	30.9	0.198	0.117		26.0	4.0 ✓
9/6	252			79.1			0.315				
18/7	291	43	39	49.7	30.4	29.4	0.349	0.064		14.2	7.6 ✓
30/8	334			80.1			0.413				
8/10	373	57	39	49.4	30.7	30.7	0.449	0.036		18.4	8.0 ✓
4/12	430			80.0			0.532				
23/12	449	21	19	40.9	20.0	39.1	0.543	0.020		4.4	2.4 ✓
13/1	470			60.9			0.563				
15/2	503	40	33	29.8	31.1	31.1	0.571	0.008		9.8	1.8 ✓
26/3	543			62.0			0.615				
4/5	582	40	39	29.8	32.2	32.2	0.631	0.016		3.6	3.6 ✓
13/6	622			60.6			0.674				
16/9	717	95		32.4	30.8	28.2	0.714	0.043		9.6	8.9 ✓
Ialt:		386	331	+7.2	259.8			0.532	0.182	118.2	40.5

Tabel 1. Nalte vandtemperaturer og beregnede
Varmetab for 717 dage med 8 opvarmnings-
og 8 afkølingsperioder.

Indføjet

Den tilkønde registrerede del af varme forbruget kan beregnes ind fra tallene i tabel 1:

Opvarmning af lagerrummet:

$$259.8 \text{ } ^\circ\text{C} \times 0.001169 \text{ MWh/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \times 540 \text{ m}^3 = 163.1 \text{ MWh} \quad \checkmark$$

Varmetab i opvarmningsperioden

$$\text{beregnet med modelcellen: } 0.532 \times 8 \times 27.78 = 118.2 \quad \checkmark$$

$$\text{Samlet registreret varme forbrug: } \underline{281.3 \text{ MWh}}$$

Der er indtil 16/9 1984 ialt forbrugt 36180 kg gas, der med den tidligere fundne totalnyttevirkningsgrad for kedelsystemet på $\eta = 0.787$ giver en til lageret tilført varmemængde på

$$Q_4 = 36180 \text{ kg} \cdot 11000 \text{ kcal/kg} \cdot 1.163 \cdot 10^{-6} \frac{\text{MWh}}{\text{kWh/kcal}} \cdot 0.787 =$$

$$\frac{364264 \text{ kWh}}{364.3 \text{ MWh}} \quad \checkmark$$

Det ikke beregnede varmetab ved transmission gennem betonvæg og frithængende butylgummi, fordampningstab ved lågets kant samt små vandudslip gennem defekte transmissionsledninger under opvarmningsforløb kan bestemmes til:

$$\text{Indføjet varmemængde: } 364.3 \text{ MWh} \quad \checkmark$$

$$\text{Målt og beregnet forbrug: } \underline{281.3 \text{ MWh}} \quad \checkmark$$

$$\text{I øke målt og beregnet forbrug: } \underline{83.0 \text{ MWh}} \quad \checkmark$$

Früdrættis dette forbrug alene at være fremkaldt af transmissions tabene gennem den del af betonvæggen (0.2m), der er over terræn, samt gennem den butyl/dug (0.45m), der forbindes låget med betonkanten, kan gennemsnits-temperaturen i rummet under butyl-dugen og på betons inderside skønnes.

For den 0.3m tykke betonvæg kan k-værdien skønnes til: $k = 1/0.17 \times \frac{0.2}{1.6} = 2.80 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$.

For dens 0,001 m tykke blylodning kan k -værdien
skønnes til: $k = 1/0.17 + \frac{0.001}{0.23} = 5.74 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

kanttabet i MW/°C kan anslås til:

$$Q_{\text{kant}} = (4 \times 15.98 \times 0.2 \times 2.80 + 4 \times 15.98 \times 0.45 \times 5.74) \cdot \frac{717.24}{10^6} =$$

3.46 MW/°C

Gennemsnitstemperaturforskellen kan der-
for skønnes til $\Delta t_{\text{kant}} = 83.0^\circ / 3.46 = 24.0^\circ$ ^{i kantbetrækket}
d. v. s. at gennemsnitstemperaturen ved fra-
en indvendig årstemperatur ^{middel} på 8.7°C kan
skønnes til $T_{\text{kant}} = 8.7 + 24.0 = 32.7^\circ\text{C}$. Dette tal
synes ikke urimeligt (sammenlign ^{med 11} soil-
temperature thermocouple 21"). Lagervandet
var i gennemsnit over 717 dage 52.3°C .
Da konstruktionen af fugen mellem lag og
kant er blevet ændret fra dag 431 kan
det være rimeligt at forsøge at vurdere kant-
tabet i perioderne 1-430 og 431-717 hver
for sig.

note side følger umiddelbart herfra

Fra dag 1 til 430 var mellemrummet mellem
læget og beten kanten delvis fyldt med en
butylslange fyldt med olie. [1, 5.38]

gasforbruget i perioden indgjorde:

Total forbrug:	36.12 t ✓
Forbrug 431 - 717	9.66 t ✓
Forbrug 1 - 430:	<u>26.52 t</u> ✓

Dette forbrug svarer til:

$$26.52 \times 11.0 \times 1.163 \times 0.787 = 267.0 \text{ MWh}$$

Vandets opvarmning lever ($\Sigma \Delta t = 176.8^\circ\text{C}$) ✓

$$176.8 \times 1.163 \times 10^{-3} \times 540 = 111.0 \text{ MWh} ✓$$

Varmetabene i perioden:

$$0.425 \times 10^5 \times 8 \times 27.78 = \frac{94.4}{2.778 \times 10^{-4}} = 94.4 \text{ - } ✓$$

helt og beregnet:

$$205.4 \text{ MWh} ✓$$

kanttabet

$$61.6 \text{ MWh} ✓$$

Gasforbrug:

$$267.0 \text{ MWh} ✓$$

Kanttabet pr. $^\circ\text{C}$ indgår:

$$3.46 \times \frac{430}{717} = 2.08 \text{ MWh}/^\circ\text{C} \text{ d.v.s}$$

Kanttabet svarer til en temperaturdifference
over butylslangen på: $\Delta t = \frac{61.6}{2.08} = 29.6^\circ\text{C}$

= ledetemperature i perioden udgør 8.9°C ,
(igen gennemsnit)

hvorfor temperaturen in-

der butylslangen må antages at have været

$$T_{\text{kant}} = 29.6 + 8.9 = 38.5^\circ\text{C}, \text{ medens vandet har været}$$

$$\text{ca. } 56.6^\circ\text{C}.$$

7 perioden dag 431 - 717 jås tilsvarende:

Indfyret varmemængde:

$$\sqrt{9.66 \times 11.0 \times 1.163 \times 0.787} = \sqrt{97.3 \text{ MWh}}$$

Beregnet varmetab:

$$\sqrt{0.107 \times 8 \times 27.78} = -23.8$$

Oprarmet lagerværd: ($\Sigma \Delta t = 83.0$)

$$\sqrt{83.0 \times 1.163 \times 10^{-3} \times 540} = -52.1$$

Kant tab:

$$\text{Kanttabet pr. } ^\circ\text{C udgør: } 3.46 \cdot \frac{287}{717} = 1.38 \text{ MWh}/^\circ\text{C}$$

Til dette Kant tab svarer en temperaturdif-
ferens over butyldugen på $\Delta t = 21.4 / 1.38 = 15.5^\circ\text{C}$
Den gennemsnitlige inde temperatur i den
periode udgør 8.5°C , hvorfor temperaturen
inden butyl dugen kan skrives til 24.0°C
Lagerværdets temperatur i perioden var
i gennemsnit: 45.8°C .

Da gennemsnitstemperaturforskellen er
 29.6°C ved en gennemsnitstemperatur i
laget på 56.6°C eller $0.523^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ for de
430 dage med butylrørslange, men 15.5°C
ved 45.8°C lager temperatur eller $0.338^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$
for de 287 dage ~~uden butylslange~~
Ved gennemsnitlige temperaturforskelle
skrives at mindske kanttabet med
36%.

Betrægtes endeligt perioden fra dag nr. 622
til 717, der alene omfatter en afhalingso-
periode, bliver beregningen uafhængig
af gasmængderne.

Temperaturfald 13/6 - 16/9 - 84; $\Delta T = 60.6 - 32.4 = 28.2^\circ\text{C}$

Varmemængden udgør:

$$\sqrt{28.2 \times 7.163 \cdot 10^{-3} \times 540 = 17.7 \text{ MWh}} \checkmark$$

Heraf ^{brugt varmetab} beregningsmæssigt:

$$0.04 \cdot 8 \cdot \frac{2.778 \cdot 10^{-4}}{2.778} = \frac{8.9}{-} \checkmark$$

Kerntabet udgør: 8.8 MWh $\checkmark$

Kerntabet pr $^\circ\text{C}$ for 95 dage udgør:

$$3.46 \times \frac{95}{717} = 0.458 \text{ MWh}/^\circ\text{C} \checkmark$$

Kerntabet er 8.8 MWh, hvilket tyder på at temperaturforskellen langs kanten er ca $\Delta t = 8.8 / 0.458 = 19.2^\circ\text{C}$. Den gennemsnitlige indetemperatur er ca. 16°C i perioden, hvorfor temperaturerne indvendigt ender betydeligt højere kan antages at være ca. 35°C i gennemsnit i perioden. Lagets temperatur var ca. 42.2°C i gennemsnit for perioden. Jernbetons temperaturforskellen 19.2°C udgør 0.458°C hvilket kan tyde på, at betytslangerne kun har formindsket kerntabet med 15%, mens de øvrige tale og uønsket ledelse i gasregnetab er årsag til resten.

5. FUGTBEVÆGELSER I DET FLYDENDE LÅG

Af hensyn til fugtbalancen i lågets isolering blev membranen mellem vand og isolering udført med en fugtmodstand, der væsentligt overstiger fugtmodstanden mellem isoleringen i låget og det ydre klima. Mod vandet anvendtes 2,5 mm "High Density Polyethylene" (HDPE), og mod det ydre klima anvendtes 1 mm butylgummi. Isoleringen er NE 20 kg/m³ ekspanderet polystyren.

I dette tilfælde har butylgummien en vanddamptransmission, der er 50 gange større end HDPE membranens vanddamptransmission. Diffusionsmodstandstallene eller PAM-værdierne (Pressure Against Moisture) beregnes på følgende måde baseret på oplysninger fra fabrikanterne: For 2,5 mm HDPE opgives værdien 0,01 g/m²·dag (bestemt efter ASTM standard E96-66), og dette svarer til $Q = 0,1 \cdot 10^{-9}$ kg/m²·s. I ASTM standarden er prøvebetingelserne en relativ fugtighed på 100 procent ($p_1 = 2808$ Pa) i prøvekarret og 50 procent ($p_2 = 1404$ Pa) uden for prøvekarret (temperaturen er 23°C på begge sider af prøvemnet). På dette grundlag kan PAM-værdien findes:

$$PAM = \frac{p_1 - p_2}{Q} = \frac{2808 - 1404}{0,1 \cdot 10^{-9}} = 120 \cdot 10^{11} \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

Den tilsvarende værdi for 1 mm butylgummi er:

$$PAM = 2,3 \cdot 10^{11} m^2 \cdot s \cdot Pa/kg.$$

PAM-værdierne falder formodentligt lidt med stigende temperatur, men denne effekt er ikke oplyst af fabrikanterne.

For at kontrollere om fugtbalancen i låget har udviklet sig på hensigtsmæssig måde, udførtes bestemmelse af isoleringens fugtindhold efter ca. 2 års funktion. Den 14/8 1984 blev butylgummien åbnet, og enkelte vanddråber kunne ses og mærkes (let våd hånd!) på gummien underside. Der blev udtaget 4 prøver fra toppen af låget og 2 prøver fra bunden af låget (dimension ca. 10·10·10 cm³). Samme dag blev prøverne målt og vejede, og densiteten blev bestemt, se tabel 1. Densiteten i toppen af isoleringen adskilte sig fra densiteten i bunden med +6%.

Derefter blev prøverne sammen med 8 referenceprøver (udtaget af et emne, der har været lagret inde ved 20°C) sat til tørre i varmeskab ved 60°C. Vejerresultaterne efter 2, 6, 8 og 35 døgns udtørring fremgår ligeledes af tabel 1. 2 |

Fabrikanten angiver fugtindholdet til maksimalt 1,5% (vægt%) ved levering. Isoleringen henlå under afdækning i tør sommerluft inden indbygning, og den forsøgte afdækket med pressninger under indbygningen i låget.

Den officielle prøveattest på isoleringen fremgår af appendix 3: De to fra KBE-lageret udtagne prøver har for prøve nr. 1's vedkommende et fugtindhold på henholdsvis 0,7 vægt% og 0,01 vol% og for nr. 2's vedkommende 0,8 vægt% og 0,02 vol%. Vore målinger antyder, at prøverne 1-6 fra låget ligner prøveattestens nr. 2, mens prøverne 7-14 fra referenceemnet ligner prøveattestens nr. 1. Derfor sluttes, at der ikke er ophobet fugt i isoleringen efter ca. 2 års funktion.

Da butylafdækningen kun er fastholdt med ca. 100 stk. fliser (a ca. 30 kg), ville selv ubetydelige damptryk give synlige buler i afdækningen. Det må derfor formodes, at den valgte forskel i dampdiffusionsmodstandene (PAM-værdierne) har været tilstrækkelig til at sikre fugtstabiliteten i lågets isolering.

6. JORDFUGTIGHEDSMÅLINGER VED VARMELAGER

Gennem 1 år har HYDROTEKNISK LABORATORIUM ved K.J. Kristensen med neutronudstyr [11], [12] målt vandindhold i jorden omkring varmelageret. Udstyret er skitseret på figur 12, og måleresultaterne er vist i appendix 4.

Til start, inden membranarbejdet blev udført i varmelaget, udførte K.J. Kristensen en måling med neutronudstyret i de samme borer, hvor Dansk Geoteknisk Institut havde målt vægt% vand (DGI nr. 107, 108 og 109). Som det ses i appendix 4, opnås rimelig god overensstemmelse mellem de to metoder.

Prøve nr.	14/8 Densitet g/l	Fugt-indhold vægt%	Fugt-indhold vol%	14/8 Volumen cm ³	14/8 Masse g	16/8 Masse g	20/8 Masse g	22/8 Masse g	18/9 Masse g
1	18,38 ^{xx)}	0,99	0,018	987,05	18,14	17,97	17,97	17,97	17,96
2	18,49 ^{xx)}	1,04	0,019	992,52	18,35	18,16	18,16	18,14	18,16
3	17,42 ^{x)}	1,15	0,020	996,00	17,35	17,17	17,16	17,17	17,15
4	18,72 ^{xx)}	0,99	0,018	974,15	18,24	18,06	18,06	18,08	18,06
5	18,60 ^{xx)}	1,06	0,020	960,46	17,86	17,67	17,66	17,65	17,67
6	17,50 ^{x)}	0,80	0,014	500,56	8,76	8,68	8,67	8,68	8,69
7	14,49	0,91	0,013	533,36	7,73	7,65	7,66	7,65	7,66
8	13,96	0,67	0,009	537,37	7,50	7,39	7,45	7,43	7,45
9	15,03	0,79	0,012	931,70	14,00	13,88	13,82	13,88	13,89
10	15,62	0,96	0,015	1070,09	16,72	16,56	16,50	16,55	16,56
11	14,79	-	-	1080,73	15,98	15,82	15,85	15,82	-
12	16,06	0,86	0,014	1225,04	19,68	19,49	19,41	19,48	19,51
13	15,51	0,58	0,009	1228,48	19,05	18,86	18,91	18,91	18,94
14	15,02	0,81	0,012	1225,61	18,41	18,23	18,21	18,20	18,26

x) Prøve fra bund af låg (17,46 g/l i gennemsnit)

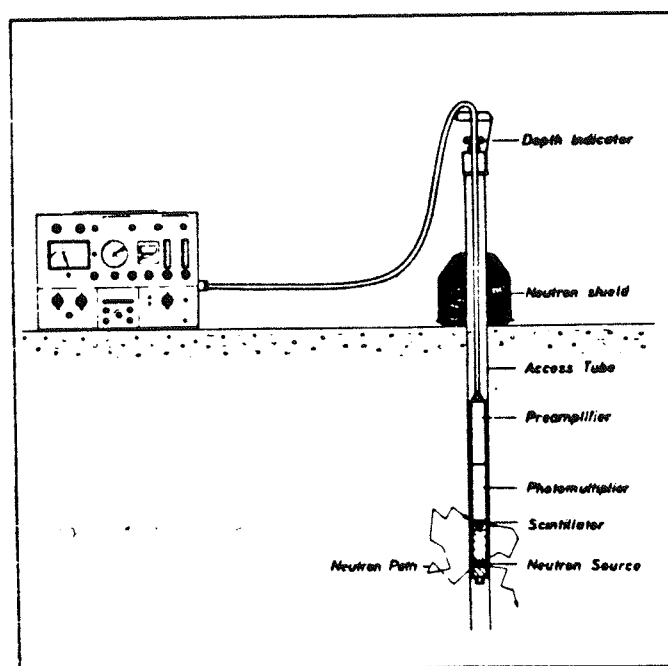
xx) Prøve fra top af låg (18,55 g/l i gennemsnit)

(Prøverne 7-14 er referenceprøver. Udtaget af et emne, der har været lagret inde (20°)).

Tabel 1. Måleresultater fra polystyrenprøver.

Efter start på opvarmning af lagervandet i september 1982 blev der som nævnt udført løbende fugtmålinger i fugtmålerørene uden for varmelageret (R1, R2, S1, S2, der ikke er optegnet af DGI) indtil august 1983. Som det ses af resultaterne, har der ikke foregået en termisk forårsaget fugttransport i de afstande fra varmelageret, hvor målingerne har fundet sted. K.J. Kristensen påpeger, at for med større sikkerhed at bestemme en eventuel termisk betinget vanddamptransport bør et rimeligt stort areal omkring målestederne belægges med vandtæt materiale, således at tilgang fra nedbør o.a. og fordampning til atmosfæren hindres. Dette er ikke gjort af tids- og mandskabsmæssige grunde, og spørgsmålet er, om den termisk betingede vanddamptransport overhovedet vil kunne måles, da målerørene uden for lageret stort set befinder sig i ler, der er meget tæt mht. vanddamptransport.

Det vil være meget mere givtigt at kontrolmåle vandindholdet i ⁵/ vandet under bunden af varmelageret (107, 108 og 109), men dette kan først ske, når lageret er tømt for vand og bundmembranen er fjernet ud for toppen af målerørene.



Figur 12. BASC fugtmåleudstyr. Reference [11].

7. KONKLUSION

Projekteringen, anlægsarbejdet og starten på måleprogrammet for 500 m³ Forsøgslageret er nøje beskrevet i reference [1]. Som nævnt i referencen er der lagt størst vægt på nøjagtighed i mulighed for beregning af lagerets effektivitet og mindre vægt på udførelsesdetaljerne, der til gengæld er blevet godt gennemarbejdede i et andet projekt, se reference [4]. I denne henseende mangler der dog meget arbejde endnu i forbindelse med en yderligere billiggørelse af projektet.

Den flydende pakning (en ø 12 cm oliefyldt butylgummislange) i spalten mellem betonvæg og flydende låg, der skulle forhindre fordampningstab m.m., blev taget op i forbindelse med reparation af fødeledningerne, og det er bagefter svært at konstatere, om pakningen overhovedet har haft nogen effekt. Som nævnt i [4] vil denne lågdetalje blive udført helt anderledes i fuldskala lagre, idet låget på disse lagre vil blive helt fastgjort til betonvæggen for at skabe et lukket lagersystem, hvor vandets temperaturudvidelse sker ved, at det fleksible låg buler lidt ud.

Den ovenfor nævnte lækage på fødeledningerne skete samtidig på både ø75 PEL rørene og ø75 ABS-HT rørene på dag nummer 433, men det er svært at forklare, hvorfor det først skete i afkølingsfasen af den 3. cyklus med høj middeltemperatur. Temperaturen i lageret var ca. 78°C, da uheldet skete. Det må forventes, at en lækage var sket et halvt år tidligere, hvis materialerne ikke kunne modstå de relativt høje temperaturer!

Af hensyn til fugtbalancen i lågets isolering blev membranen mellem vand og isolering udført med en fugtmodstand, der væsentligt overstiger fugtmodstanden mellem isoleringen og det ydre klima. Dette har været tilstrækkeligt, idet der overhovedet ikke er iagttaget synlige buler forårsaget af damptryk i butylafdækningen. Gennem en åbning i afdækningen er udtaget prøver af lågisoleringen til en fugtindholdsbestemmelse, der ligeledes ikke har vist tegn på ophobet fugt i isoleringen efter ca. 2 års funktion.

Flow- og temperaturmåling, dataopsamling og dataoverførsel til NEUCC har fungeret rutinemæssigt i hele måleperioden. Den elektrisk registrerende flowmåler har dog været til reparation og justering nogle gange, da den ikke har kunnet tåle opståede trykstød ved hurtig omstilling af trevejsventiler ved overgangen fra opvarmningsfase til afkølingsfase. Varmevekslerne er ligeledes nogle gange blevet eftersat og eventuelt rensset for tynde lag af belægninger.

Det i projektet udviklede edb-program til beregning af temperaturerne i jorden omkring lageret og til beregning af varmetab fra lageret er hermed verificeret med måleresultater for en 717 dages periode, og en god overensstemmelse er opnået. Det beregnede varmetab samt energimængden til opvarmning af lagervandet i de 8 opvarmningeperioder er sammenholdt med den indkøbte gasmængde korrigeret med kedelsystemets nyttevirkning. Der findes god overensstemmelse, idet kun 8,8% af den til lageret tilførte varmemængde tabes ved ikke beregnet varmetransmission gennem betonvæg og frithængende butylgummi, fordampningstab ved lågets kant samt små vandudslip gennem defekte transmissionsledninger under opvarmningsforløb. Dette resultat findes ganske tilfredsstillende, da lågdetaljen som nævnt ovenfor ikke er optimeret, og det kan derfor sluttet, at programmet kan bruges til simulering af jordens termiske opførsel for denne form for lagre.

Alle temperaturmålepunkter (51 i jord og 22 i vand) har virket upåklageligt i hele måleperioden, dog har den uønskede fugtbevægelse i de lodrette huller, hvor målekæderne er placeret, lokalt ændret (hævet!) temperaturen i perioder.

Fremtidige forsøgslagre og nogle af de første kommercielle lagre bør udstyres med kæder af termoelementer til temperaturregistrering, men kæderne skal sikres mod uønskede fugtbevægelser i de lodrette huller, hvor målekæderne er placeret.

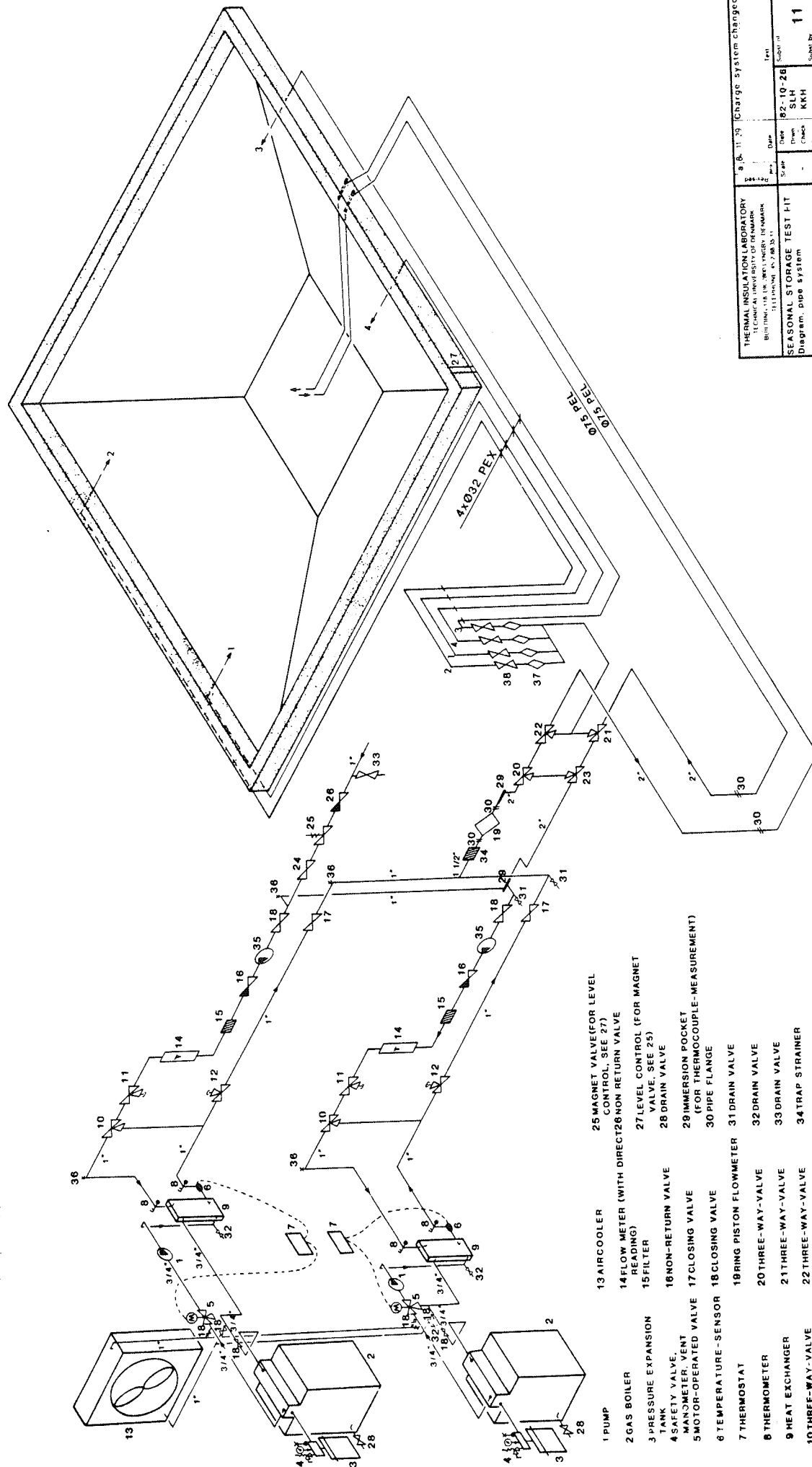
Dette projekt viser, at man med den opstillede edb-model med kendskab til jordens termiske egenskaber, lagertemperaturen samt nogle jordtemperaturer rimeligt nøjagtigt kan beregne tabet og dermed lagerets effektivitet.

8. LITTERATUR

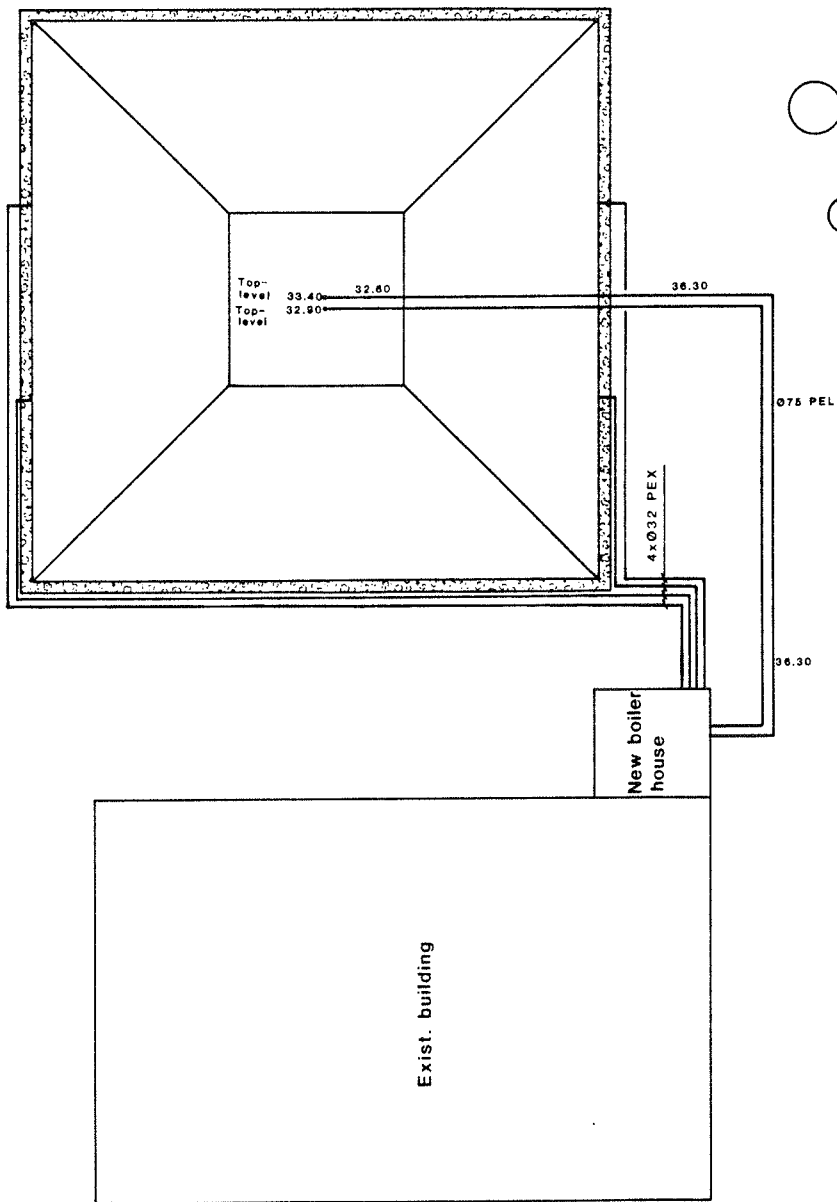
- [1] Hansen, Kurt Kielsgaard, Hansen, Preben Nordgaard and Ussing, V.: Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores - Construction and Testing of a 500 m³ Store. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. Meddelelse nr. 134, 1983.
- [2] Hansen, Preben Nordgaard: Termiske Beregningsmetoder. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Undervisningsnotat, 1978.
- [3] Hansen, Preben Nordgaard: Varmetab fra store Varmelagre. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Undervisningsnotat, 1979.
- [4] Hansen, Kurt Kielsgaard, Hansen, Preben Nordgaard and Ussing, Vagn: Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores. Dimensioning and planning of a full size store. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. Meddelelse nr. 154, 1984.
- [5] Hansen, Kurt Kielsgaard, Hansen, Preben Nordgaard og Ussing, Vagn: Temperaturlagdeling i Forsøgsvarmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Rapport nr. 84-34, 1984.
- [6] Hansen, Kurt K. and Hansen, Preben N.: Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores - Construction and Testing of a 500 m³ Store. In Solar Energy Applications to Dwellings - Solar Energy R&D in the European Community. Series A, Vol 2. (Ed. W. Palz and C. den Ouden). D. Reidel Publishing Company, 1983.
- [7] Hansen, Kurt Kielsgaard, Hansen, P. Nordgaard and Ussing, V.: Heat Storage in an Uninsulated Pit (Construction and Testing of a 500 m³ Store). In proceedings of the Swedish Council for Building Research Conference "Subsurface Heat Storage - in Theory and Practice". June 6-8, 1983, Stockholm, Sweden.

- [8] Hansen, K. Kielsgaard, Hansen, P. Nordgaard og Ussing, V.: Varmetab fra termiske sæsonvarmelagre. I proceedings fra Nordisk Ministerråds "Nordiskt seminarium kring säsonlag-ring av värme i jord, berg och vatten". 5-6 oktober 1983, Göteborg, Sverige.
- [9] Hansen, Preben N., Hansen, Kurt K. and Ussing, Vagn: Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores - Construction and Testing of a 500 m³ Store. In Solar Energy Applications to Dwellings - Solar Energy R&D in the European Community. Series A, Vol. 4. (Ed. T.C. Steemers and C. den Ouden). D. Reidel Publishing Company, 1984.
- [10] Hansen, K.K., Hansen, P.N. and Ussing, V.: Seasonal Storage Test Pit. Testing of a 500 m³ Store. In proceedings from "First EC Conference on Solar Heating". April 30 - May 4, 1984. Amsterdam, Holland.
- [11] NUCLETRONICS ApS (Danmark): Soil Moisture and Density Measurements.
- [12] Kristensen, K.J.: Depth Intervals and Topsoil Moisture Measurement with the Neutron Depth Probe. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. Published in Nordic Hydrology 4, 1973, pp 77-85.

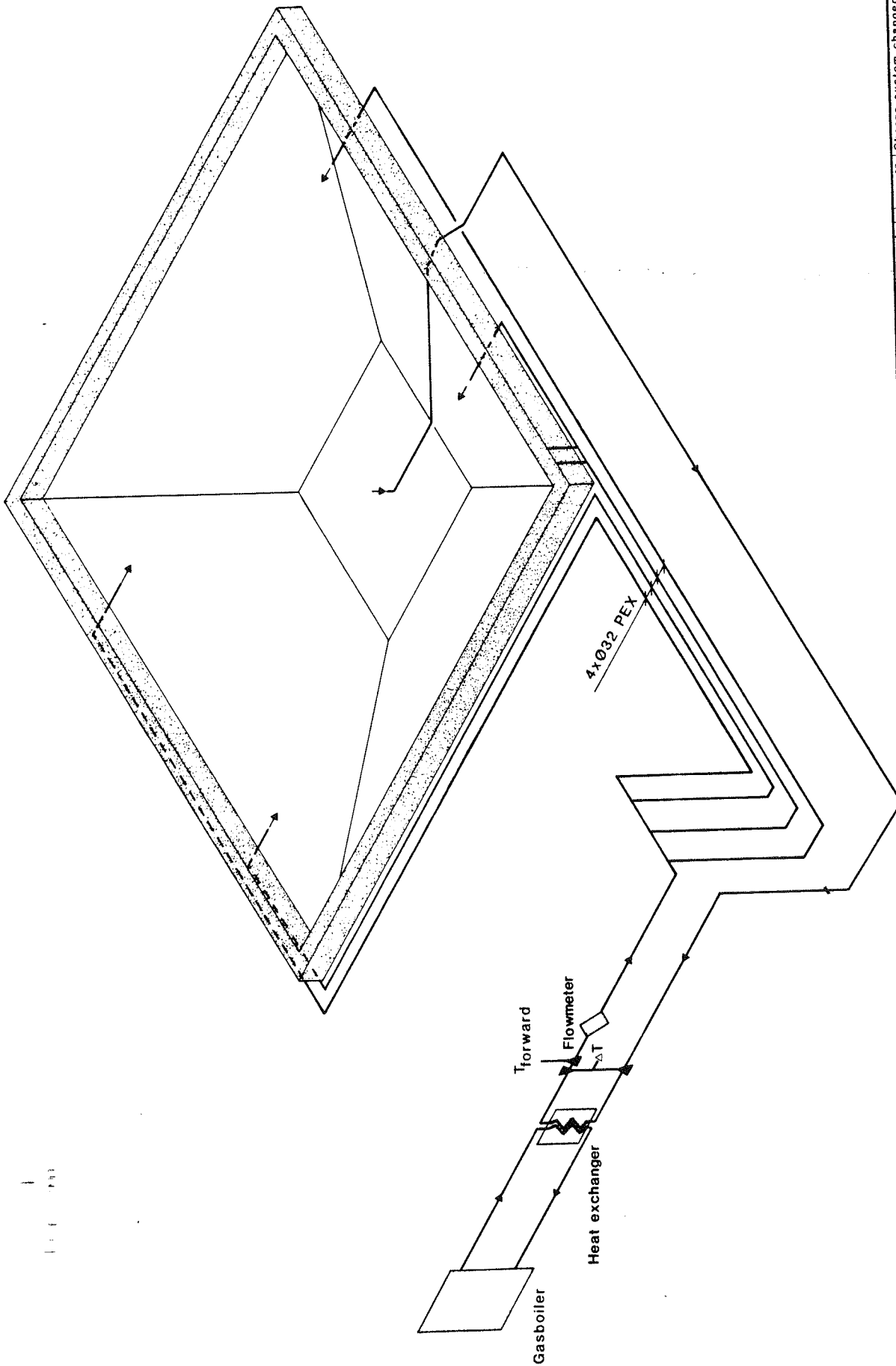
APPENDIX 1 Reviderede tegninger.



THERMAL INSULATION LABORATORY				Charge system changed SLH/KKH			
TECHNICAL DEPARTMENT OF BUILDING				Date			
BUILDING 118, JELLYNBERG HANMARK				82-10-28			
SEASONAL STORAGE TEST PIT				SLH			
Diagram, pipe system				KKH			
THIS DRAWING MUST NOT BE MADE AVAILABLE TO CONTRACTORS UNLESS THEY ARE AUTHORIZED PARTIES				11 A			

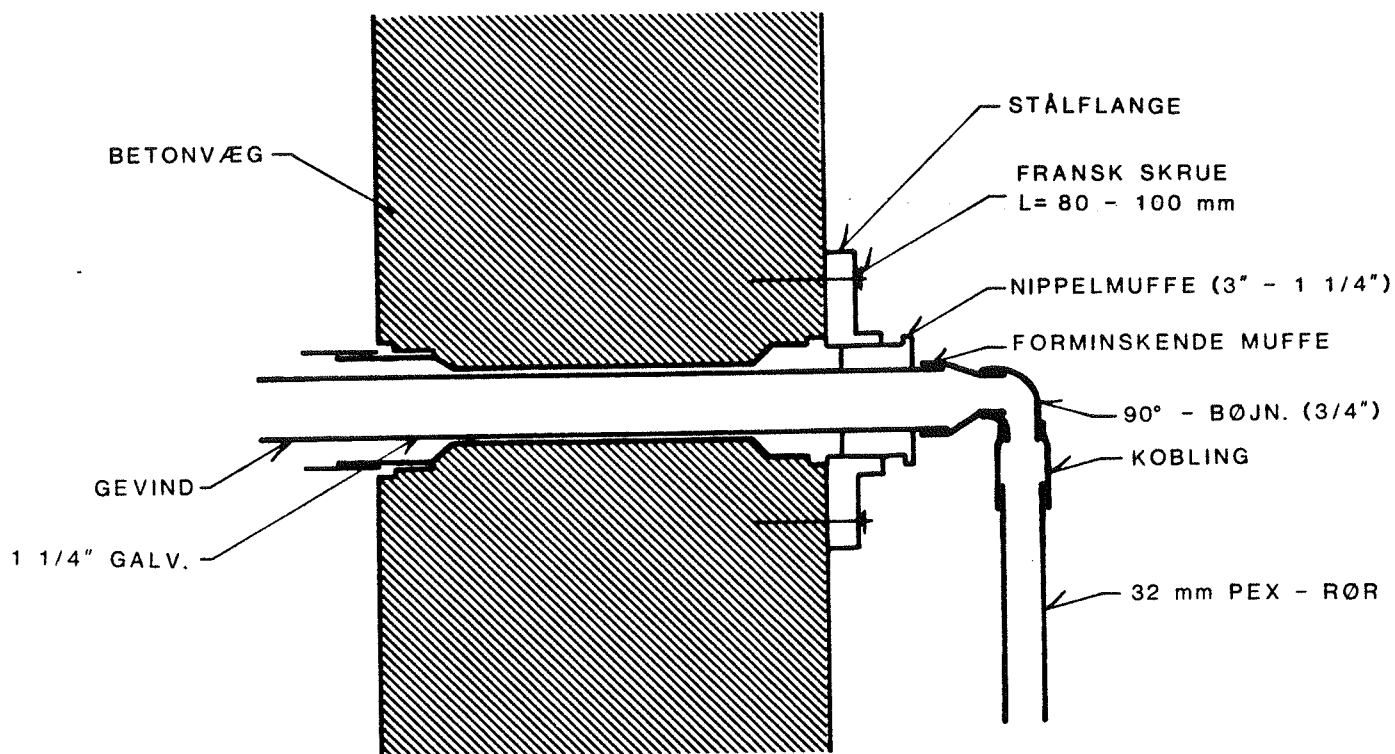


THERMAL INSULATION LABORATORY TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK BUILDING 118 DK-2800 LYNGBY, DENMARK TELEPHONE 45 28 35 11		8-11-29 Charge system changed SLH/KKH	
Revised	Date	Test	Drawn
Scale	Date	Subst. of	Drawn
1:100	82-10-13	SLH	10 A
Charge systems, plan	Check	KKH	Subst. by
THIS DRAWING MUST NOT BE MADE AVAILABLE TO COPIED BY OR UTILIZED BY UNAUTHORIZED PARTIES			



THERMAL INSULATION LABORATORY TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK BUILDING 118 DK-2801 LYNGBY DENMARK TELEPHONE 45 2 88 35 11		Rev.	14	11	29	Charge system changed SLH/KKH	
SEASONAL STORAGE TEST PIT Charge system, B		Scale		Date	82-10-13	SLH	KKH
		Drawn		check			
		Appr.		Subst. by			
				13 A			

THIS DRAWING MUST NOT BE MADE AVAILABLE TO COPIED BY OR UTILIZED BY UNAUTHORIZED PARTIES



LABORATORIET FOR VARMEISOLERING DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE BYGNING 118, 2800 LYNGBY TELEFON (02) 88 35 11	Revision							
			Mrk.	Dato	Tekst	Tegn.	Godk.	
FORSØGSVARMELAGER Vandret snit ved betonvæg	Malforhold	Dato	84-12-19	Erst. f.				
		Tegn.	SLH	32				
		Konf.	KKH					
		Godk.		Erst. af				
DENNE TEGNING MÅ IKKE OVERLADES TIL, KOPIERES ELLER UDNYTTES AF UVEDKOMMENDE								

APPENDIX 2

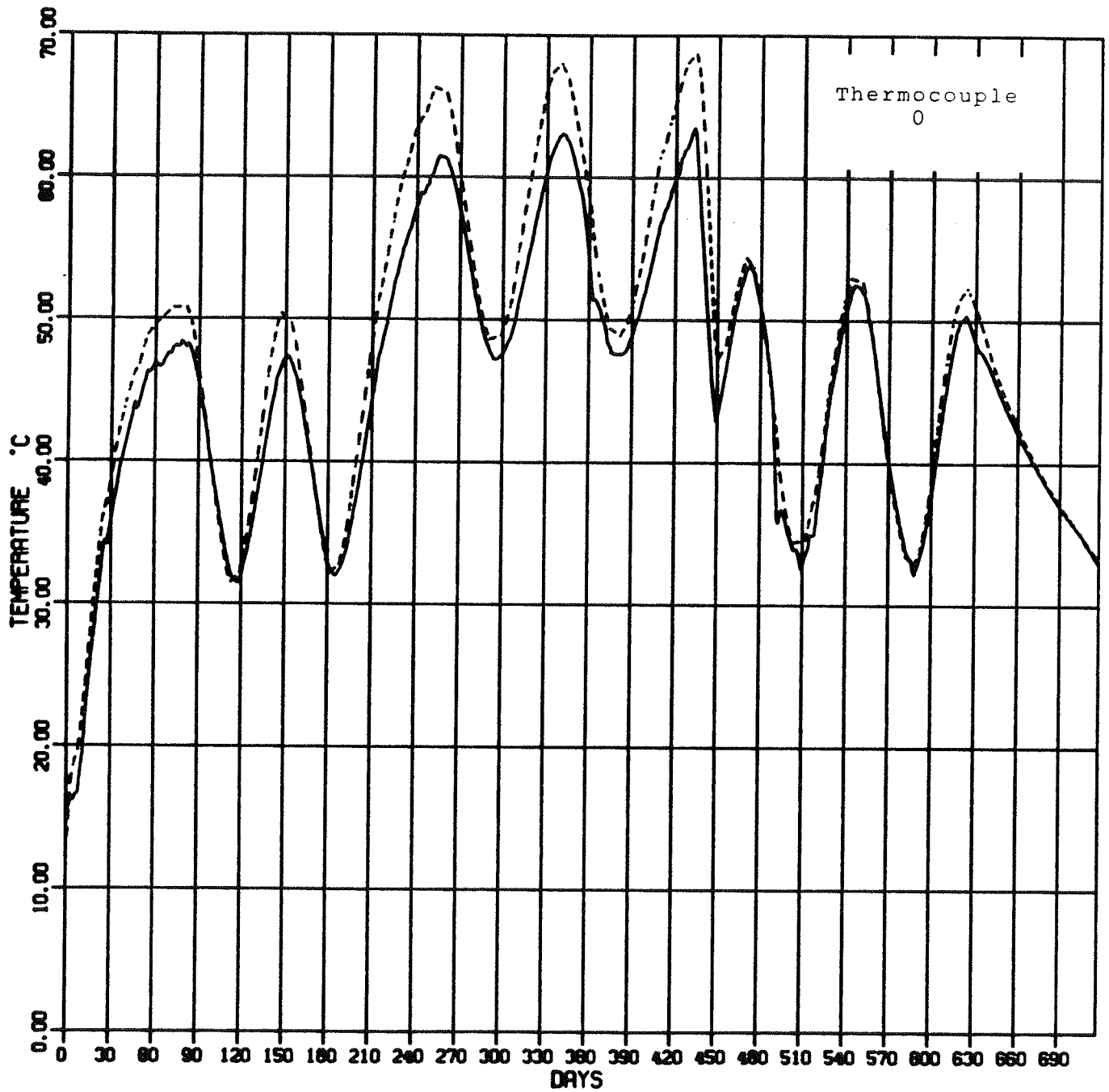
Målte - og beregnede temperaturer i jordmålepunkterne (termoelementplaceringerne er vist på tegningerne 21 og 22 i reference [1] samt antydnet på figur 3 og figur 4 i denne rapport).

Note:

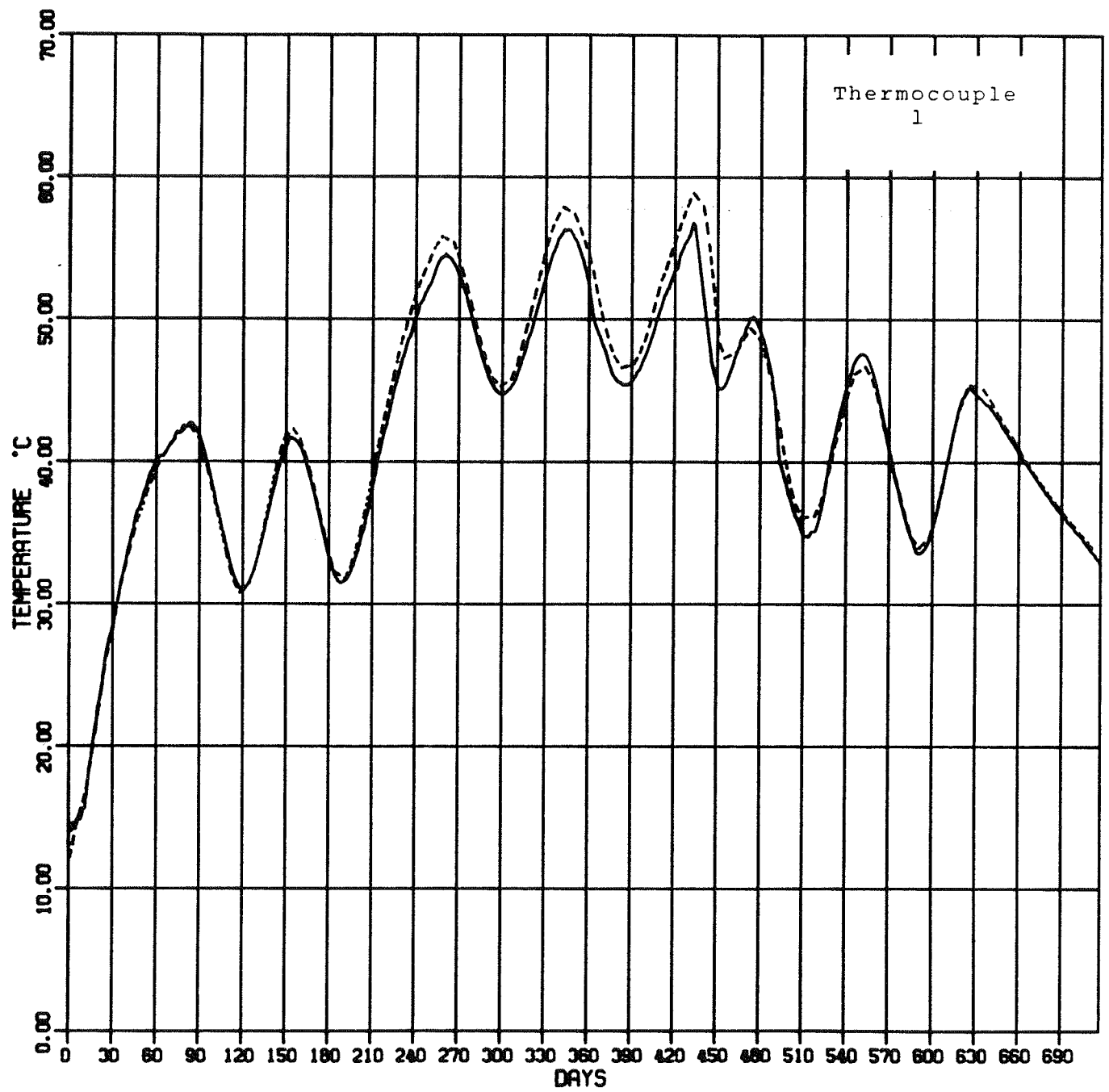
—— Målt temperatur.

----- Beregnet temperatur. De anvendte termiske egenskaber for jorden er $\lambda = 1,6 \text{ Wm}^{\circ}\text{C}$ og $\alpha = 22 \text{ m}^2/\text{år}$.

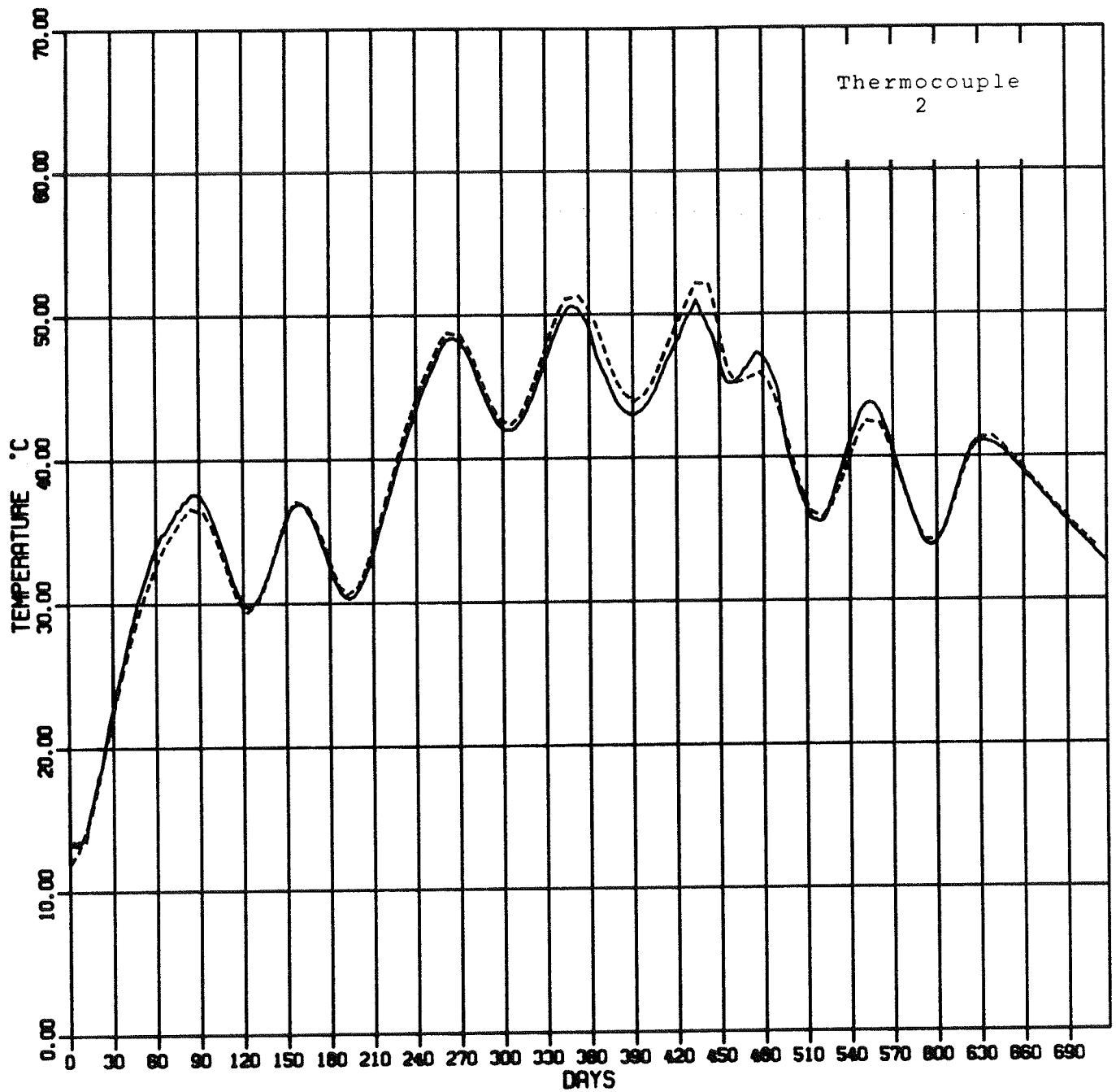
SOIL TEMPERATURE



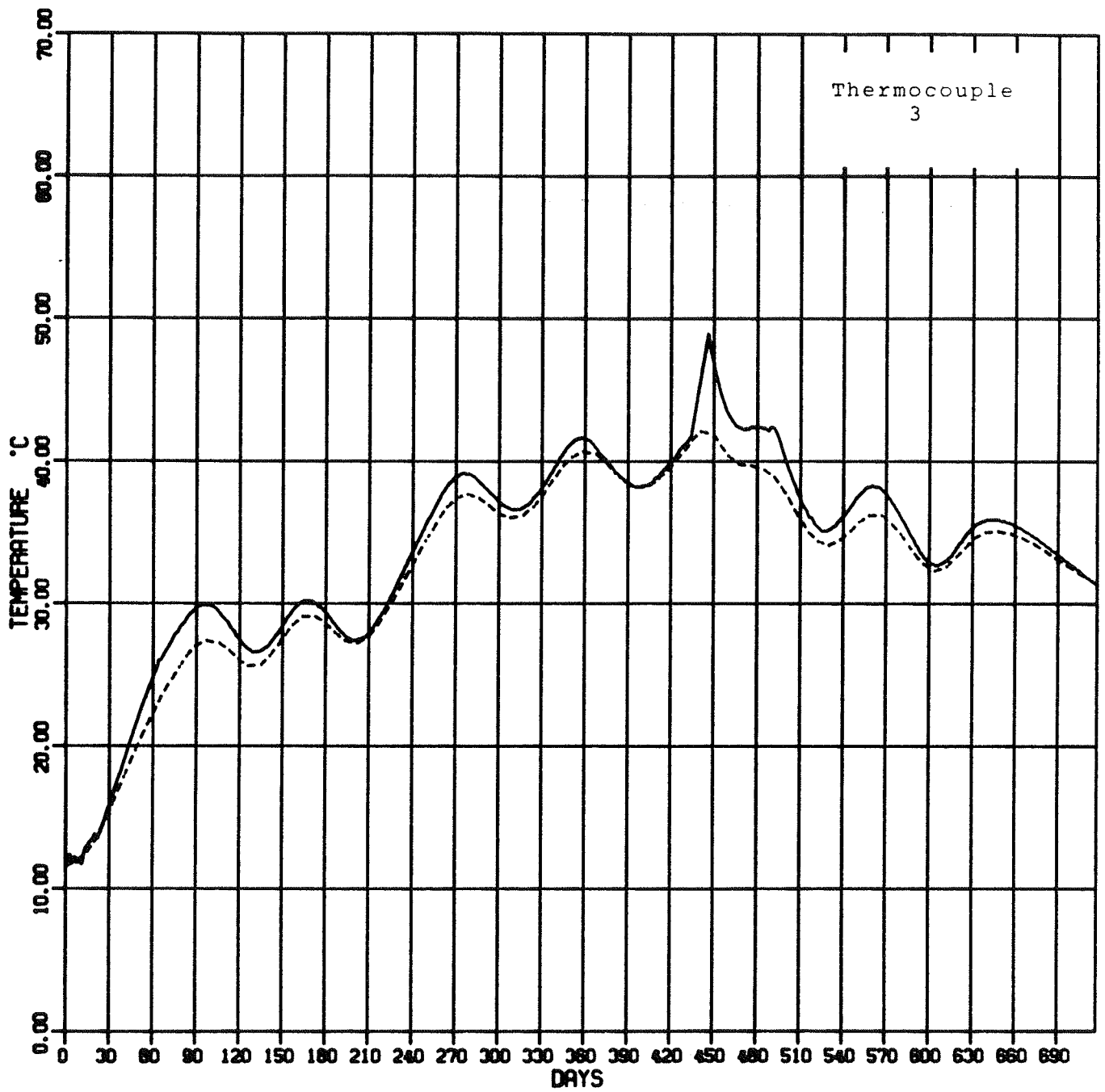
SOIL TEMPERATURE



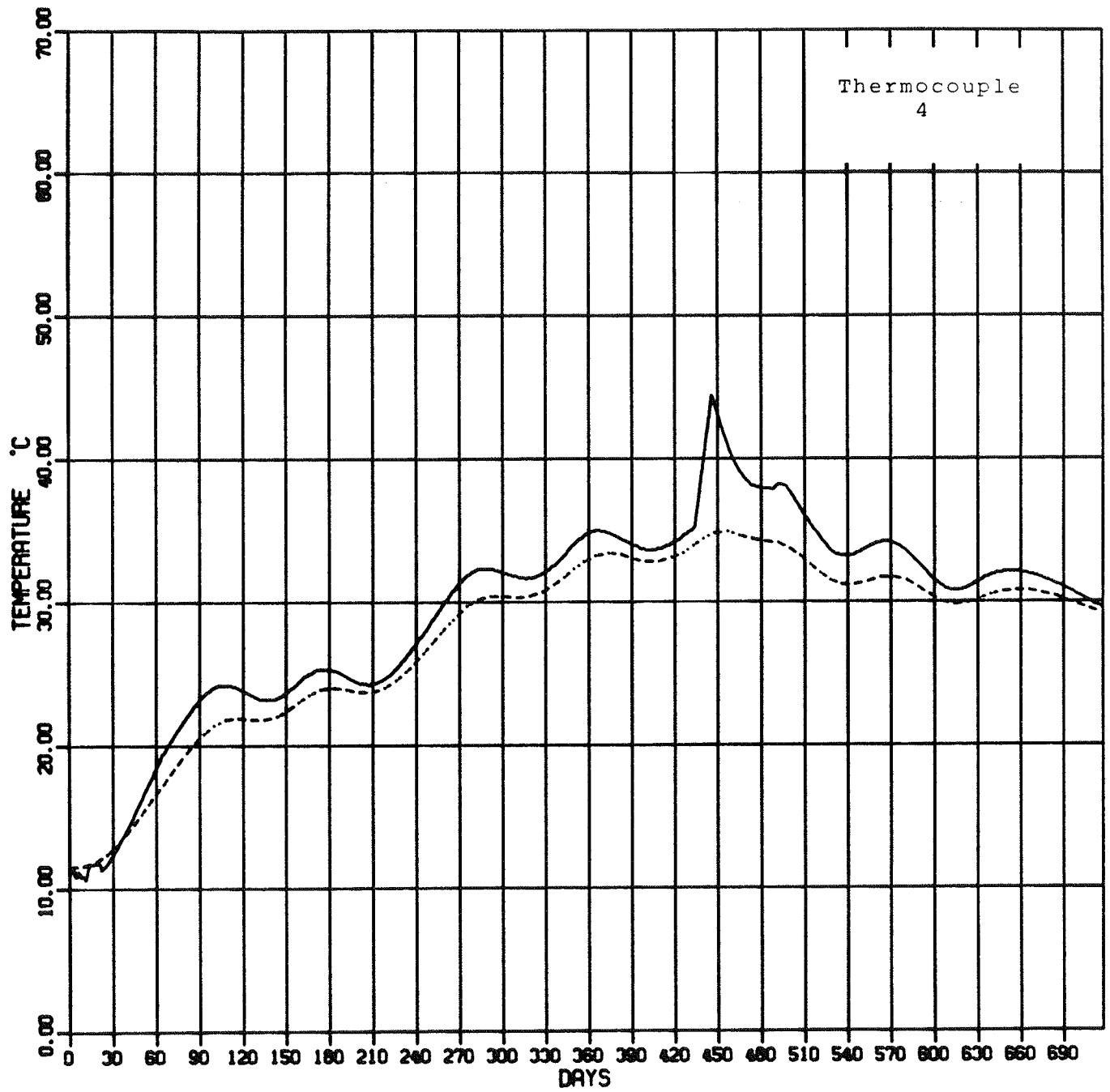
SOIL TEMPERATURE



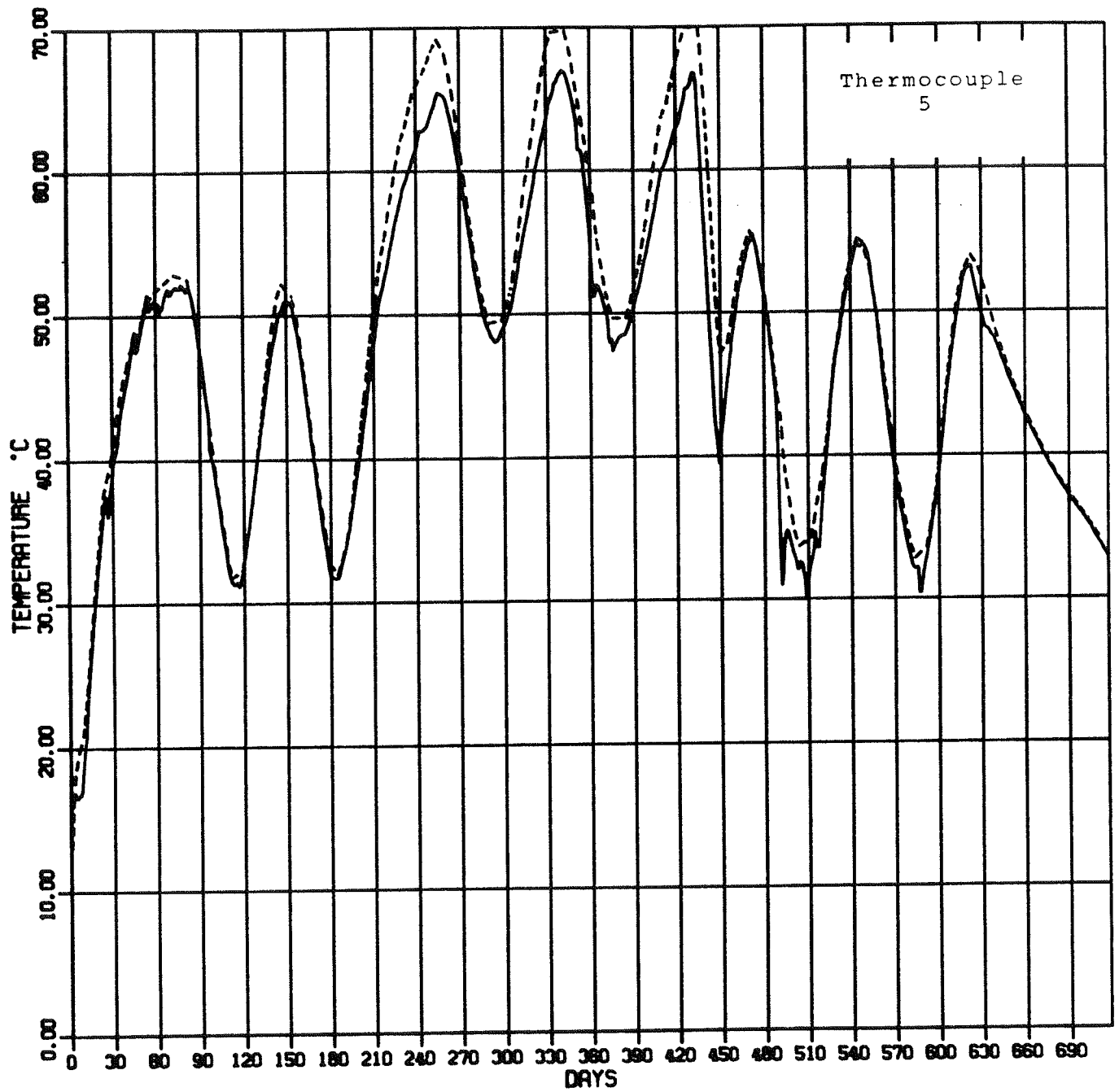
SOIL TEMPERATURE



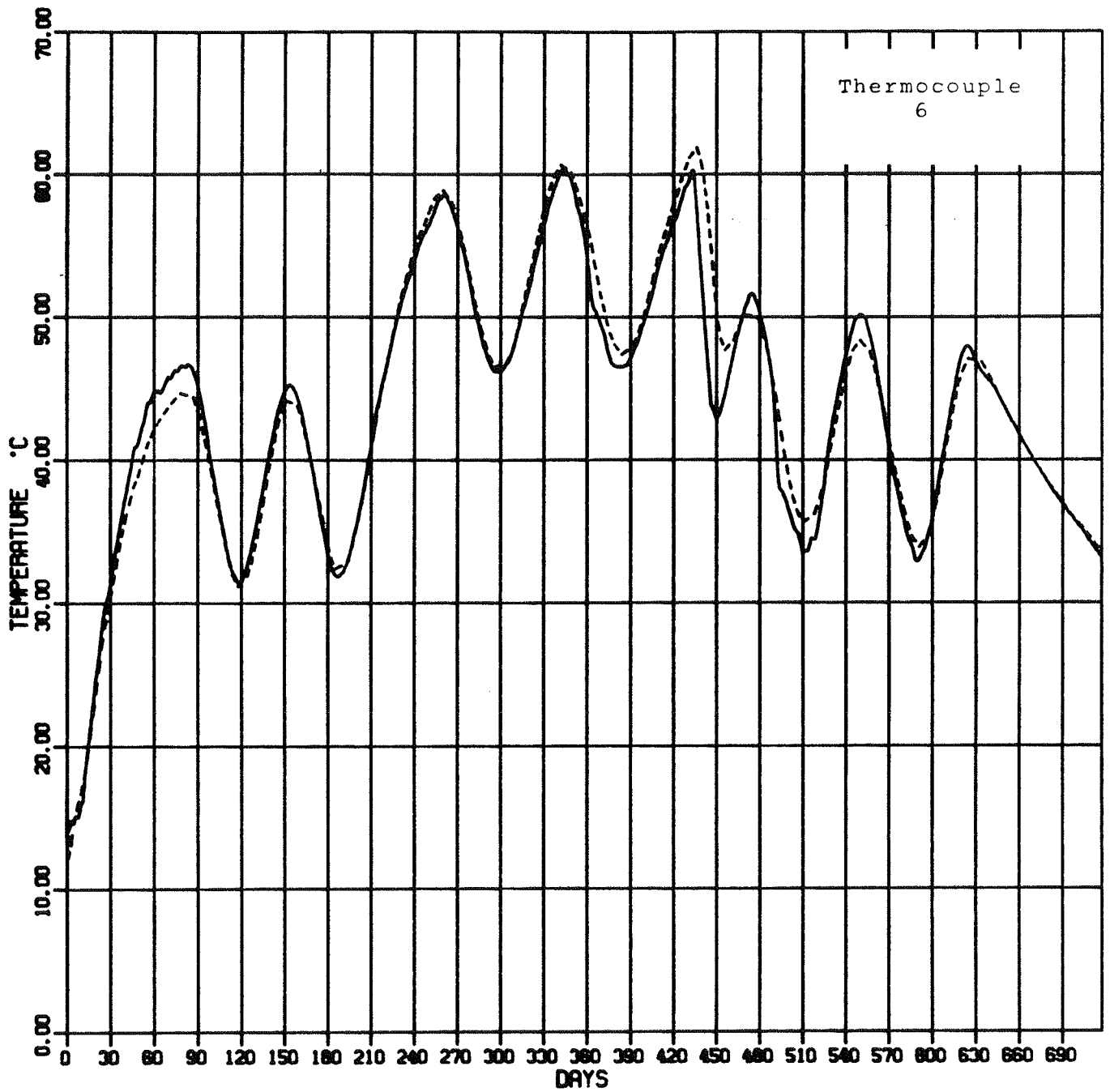
SOIL TEMPERATURE



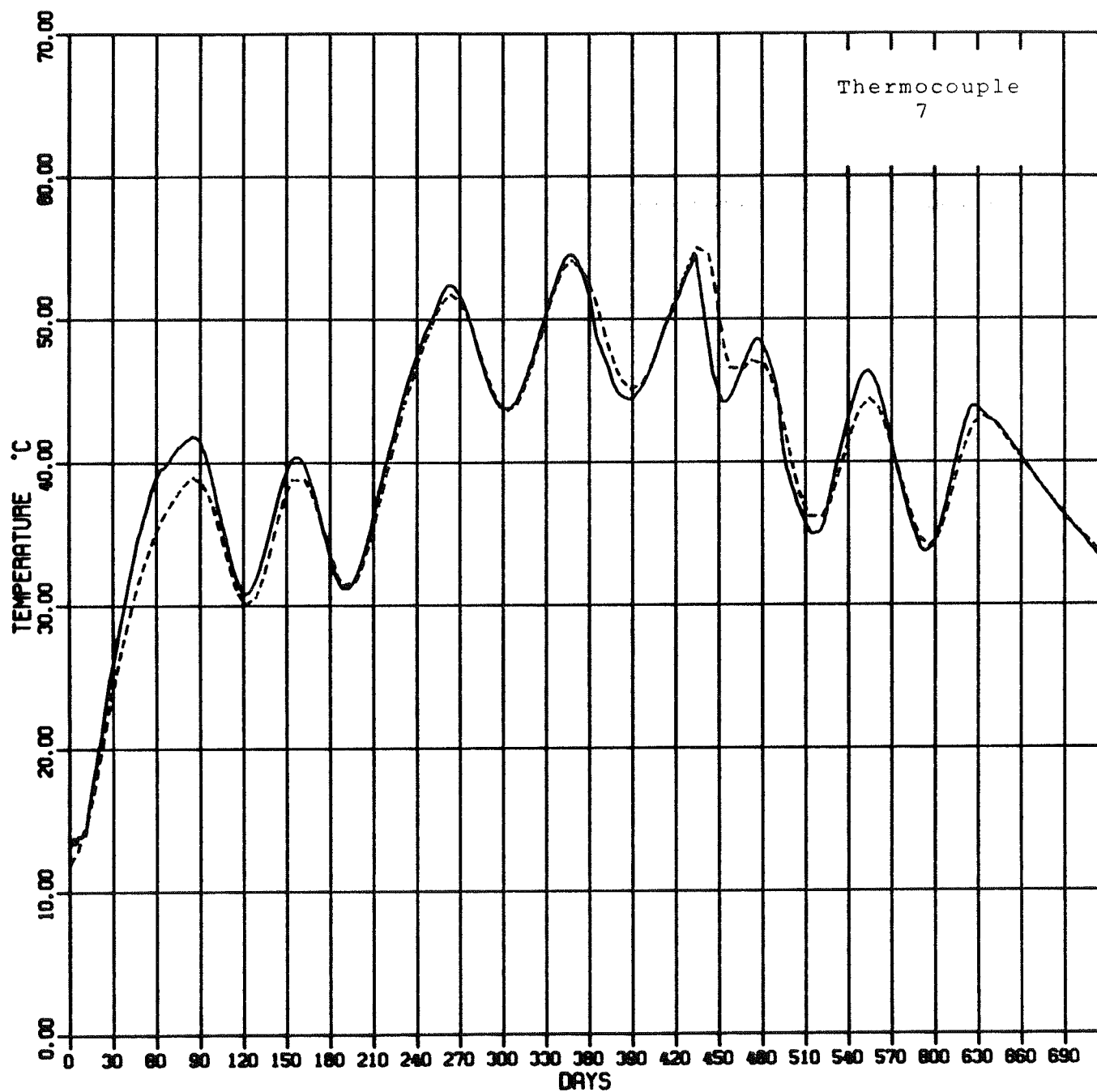
SOIL TEMPERATURE



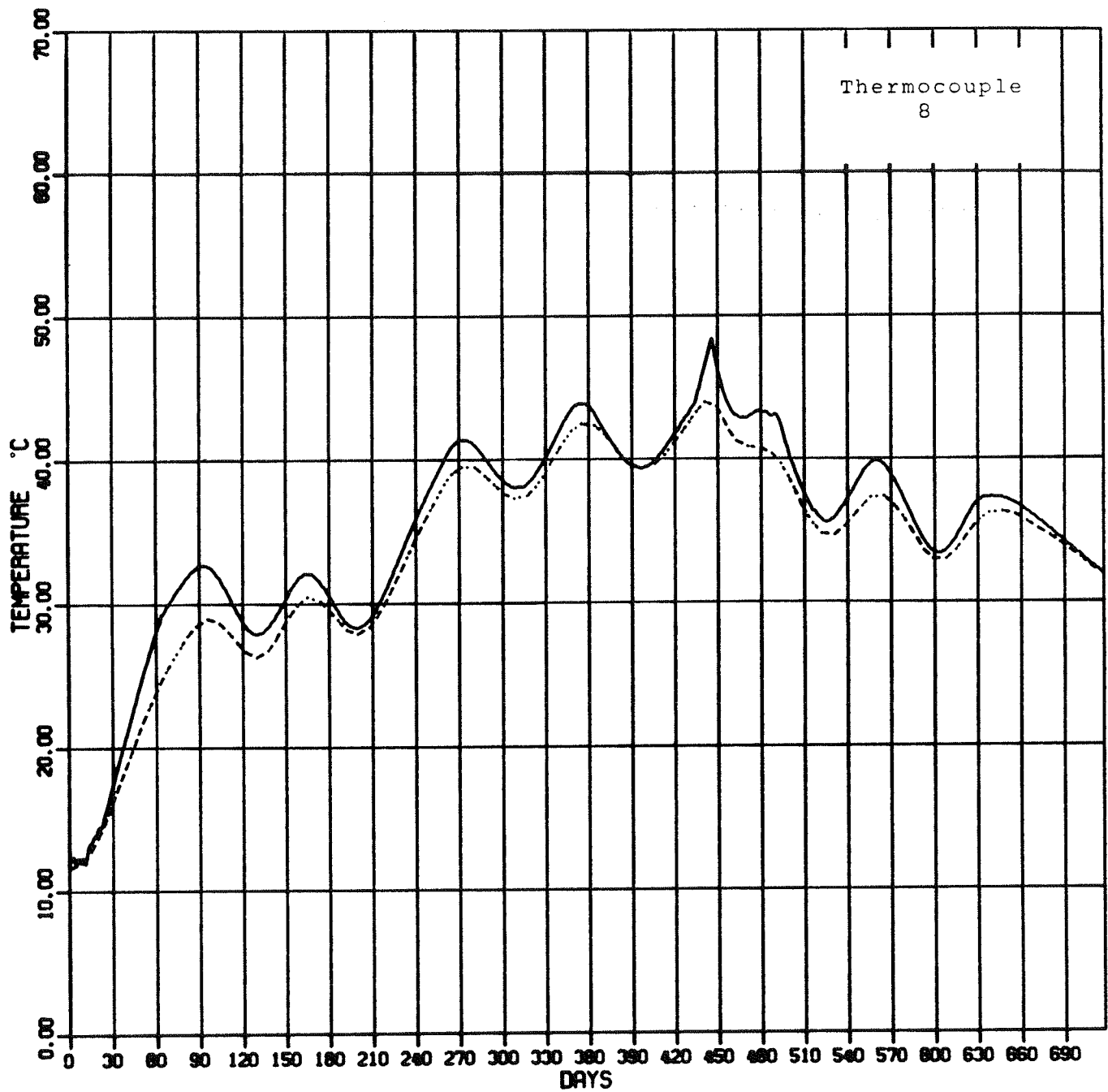
SOIL TEMPERATURE



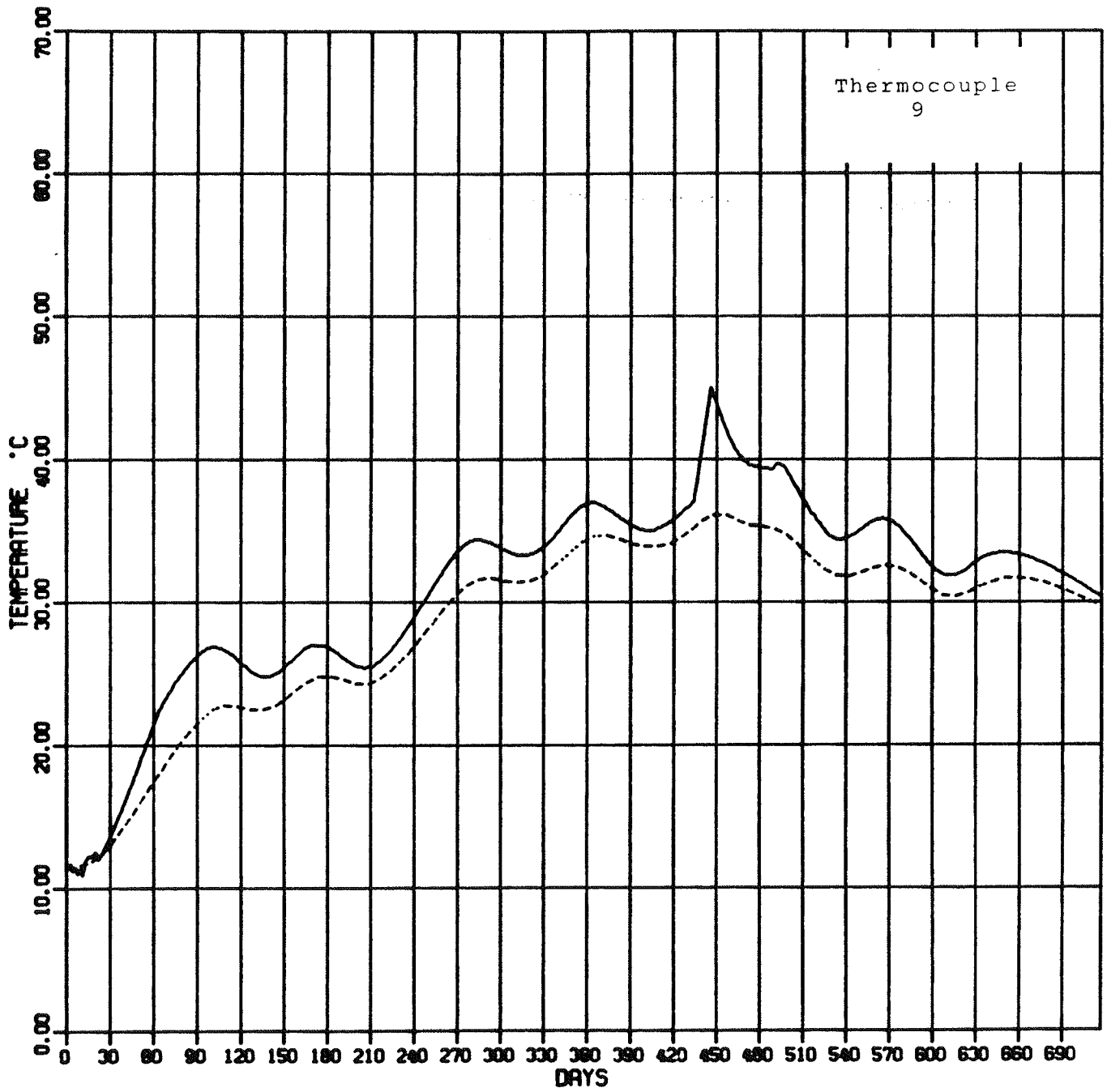
SOIL TEMPERATURE



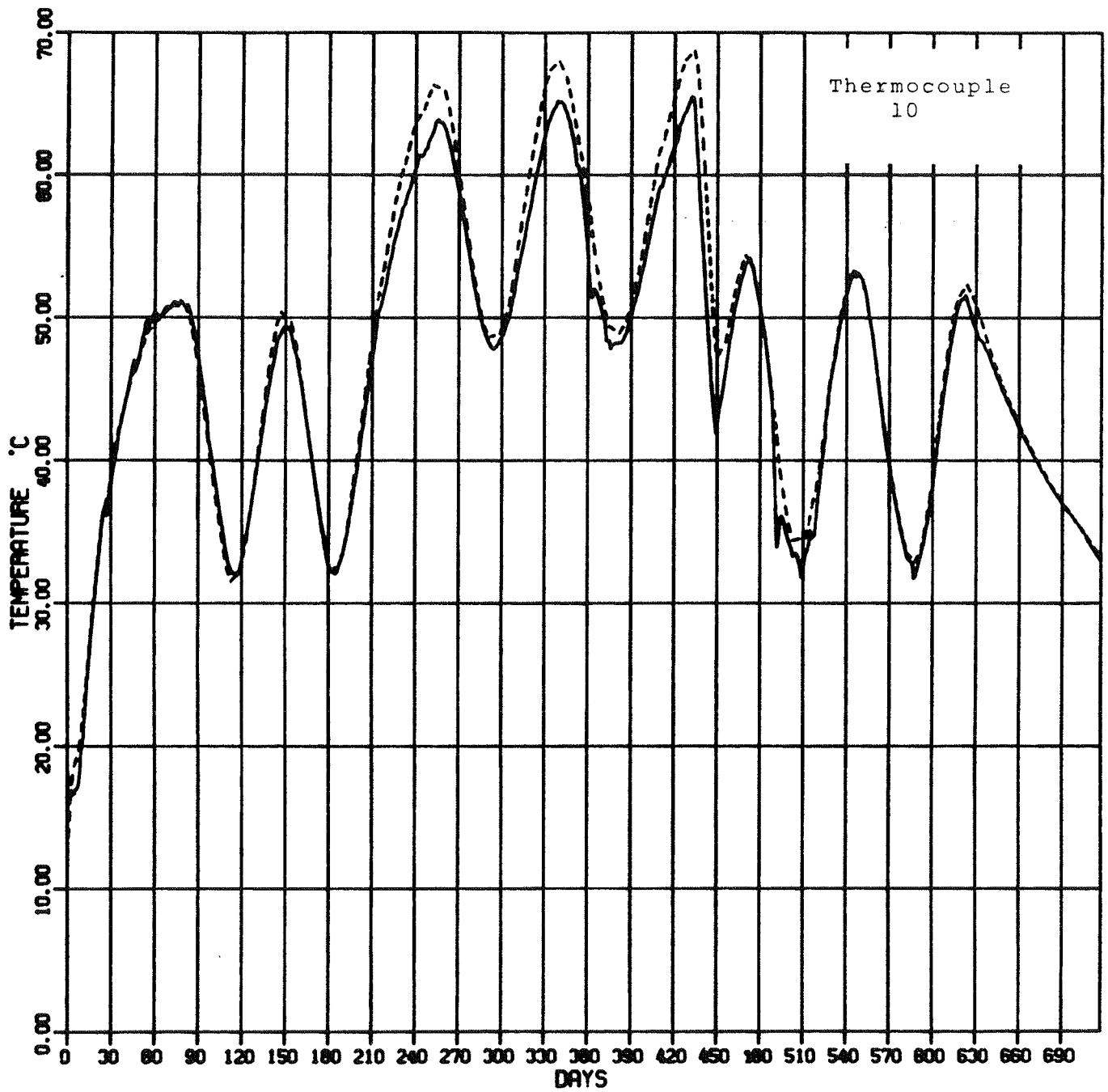
SOIL TEMPERATURE



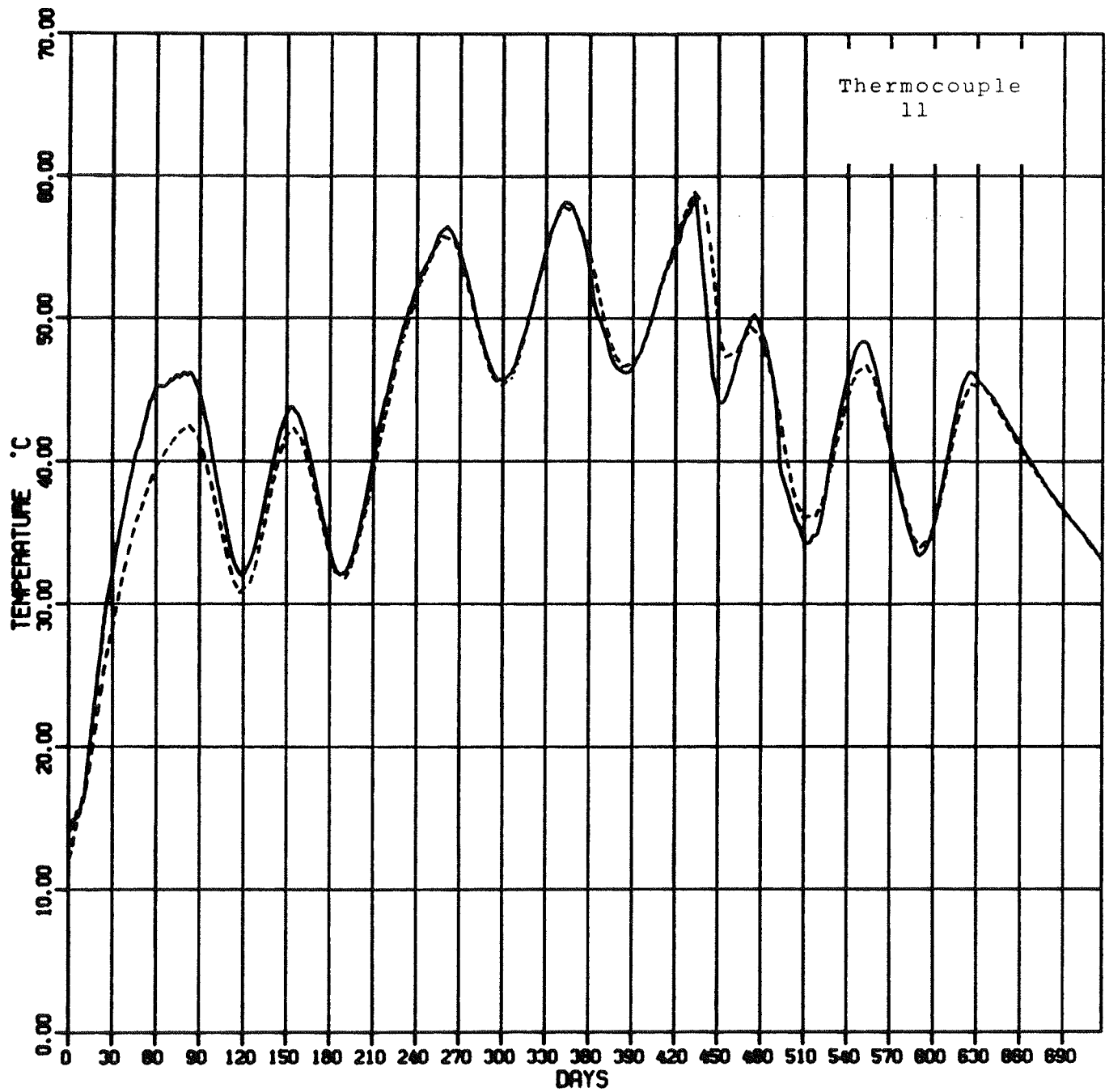
SOIL TEMPERATURE



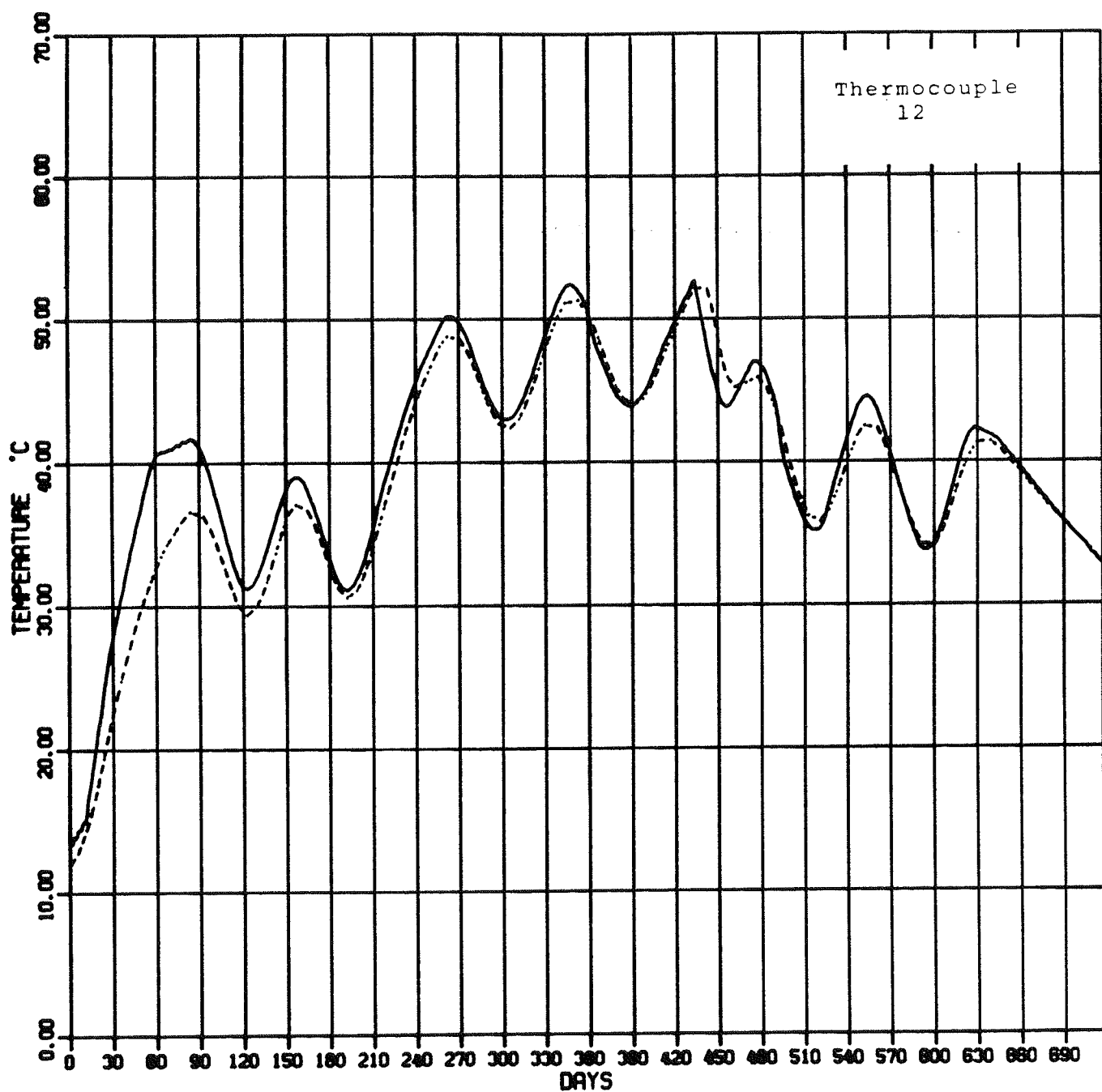
SOIL TEMPERATURE



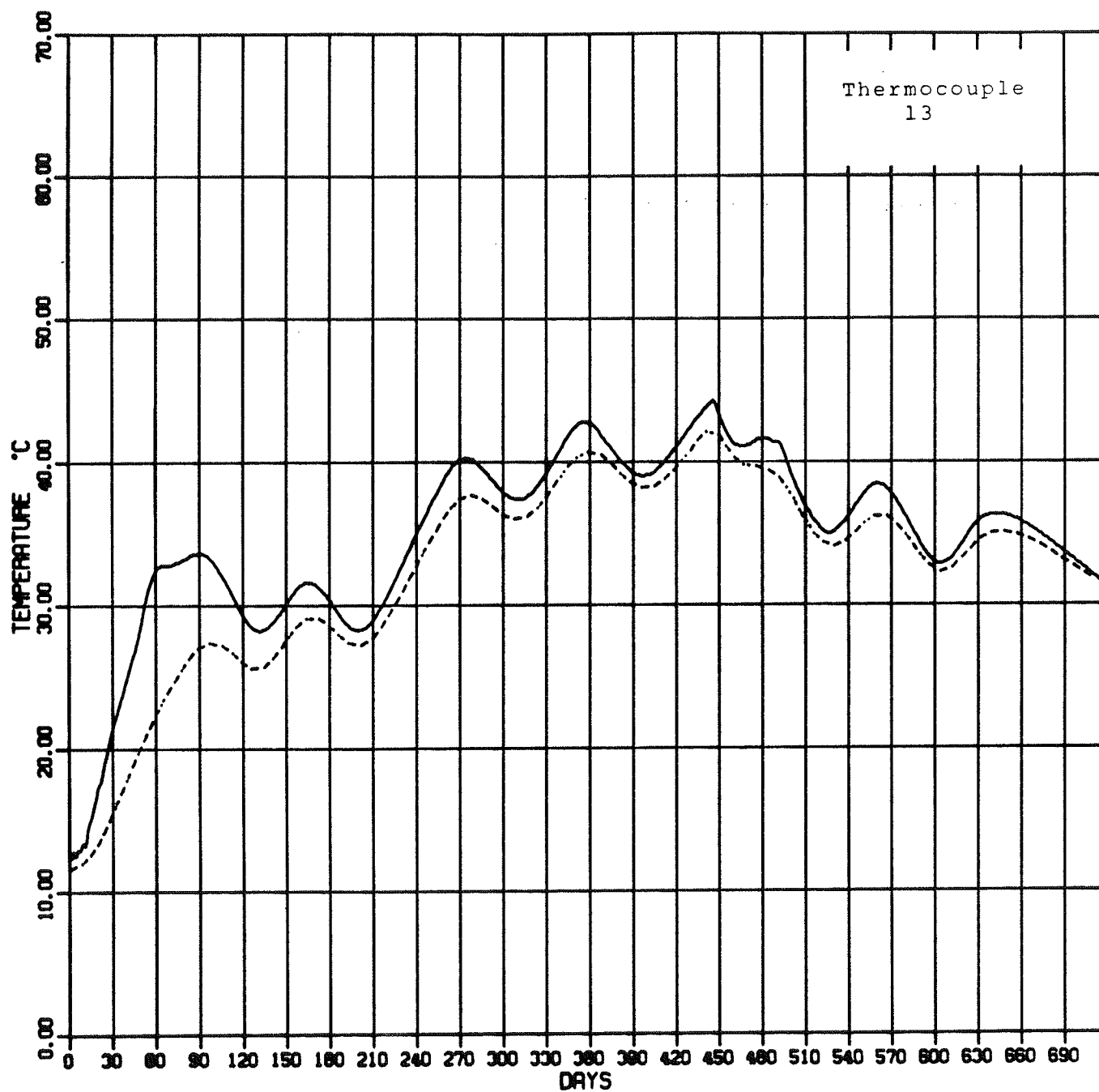
SOIL TEMPERATURE



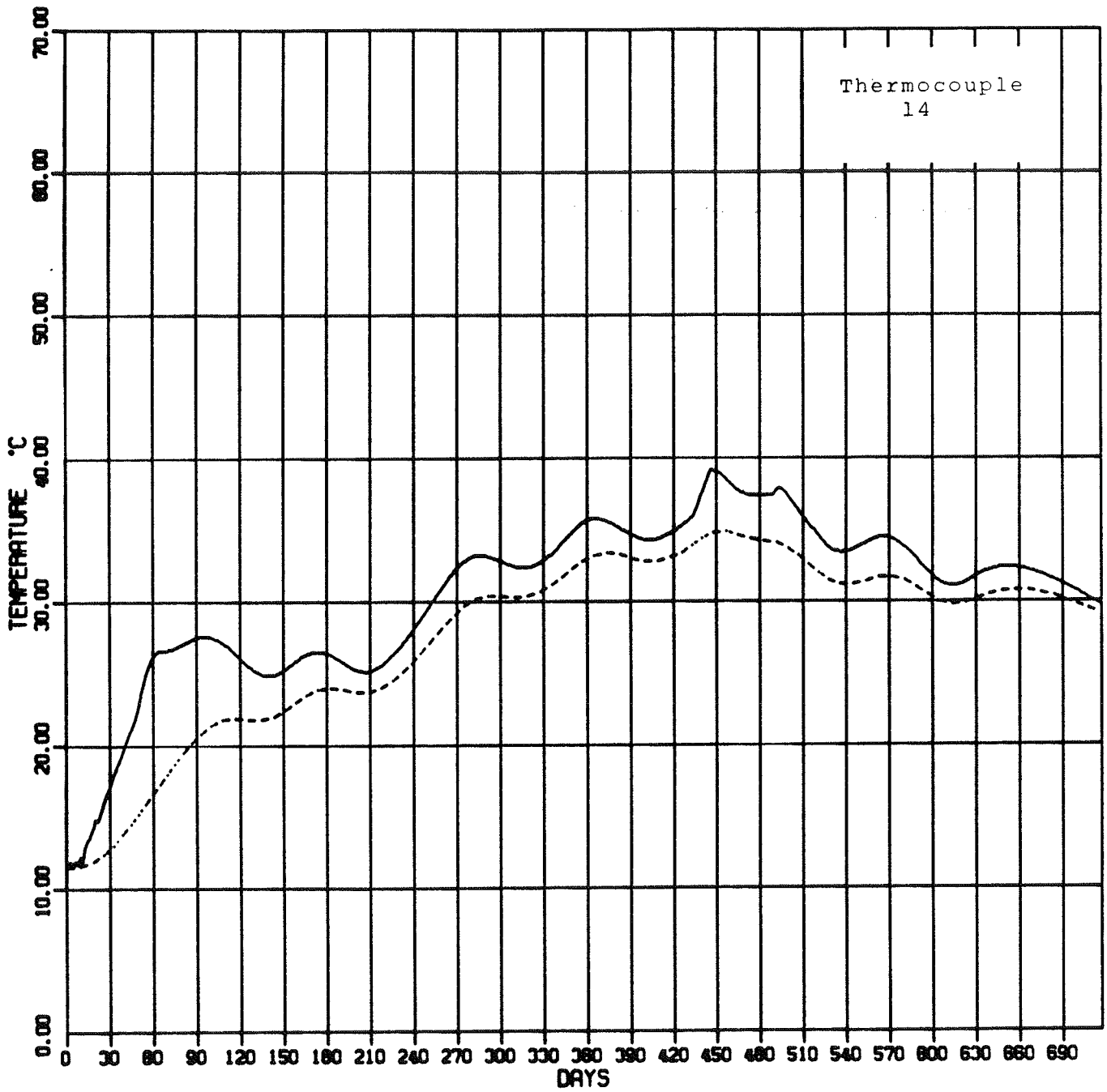
SOIL TEMPERATURE



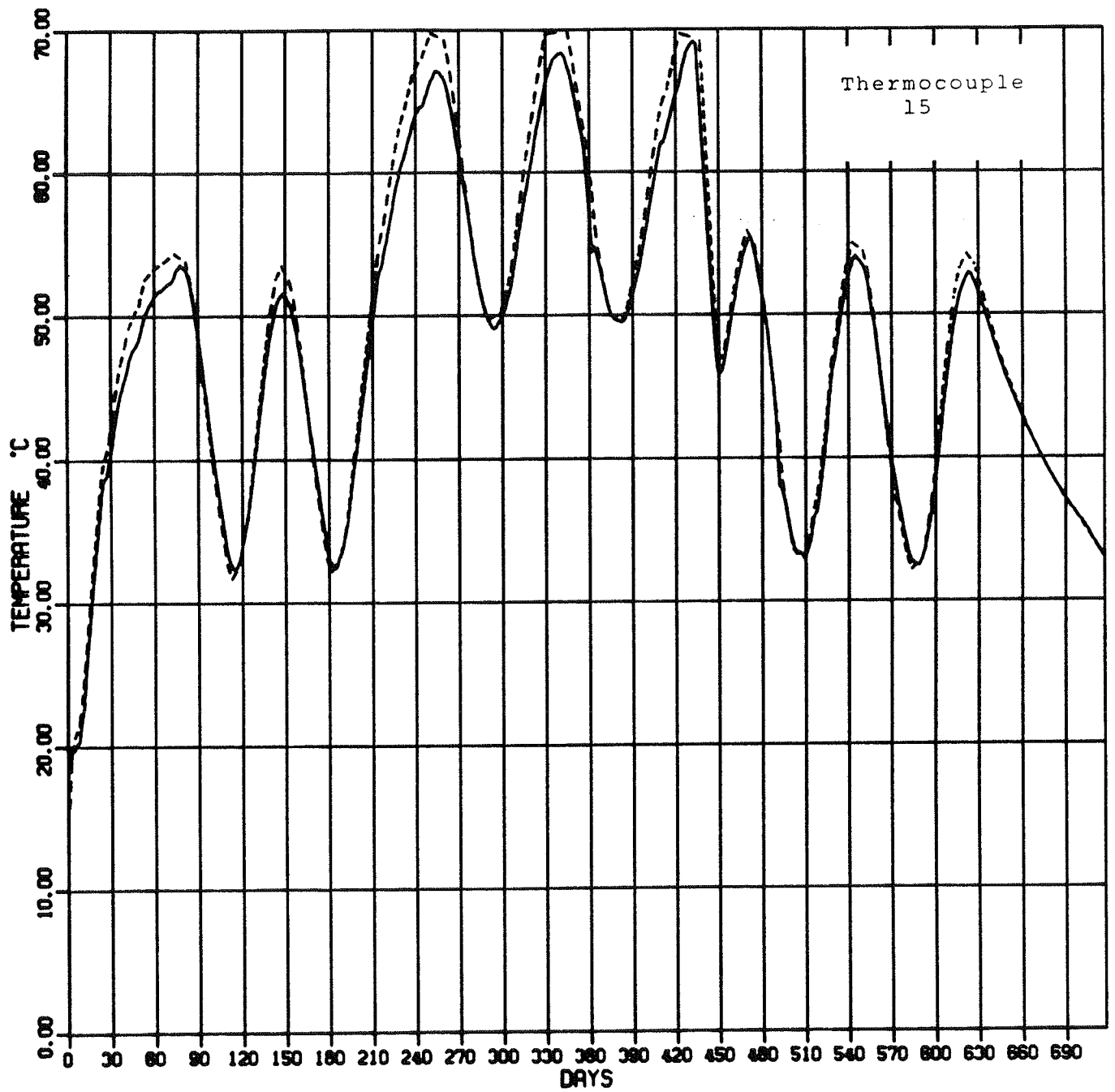
SOIL TEMPERATURE



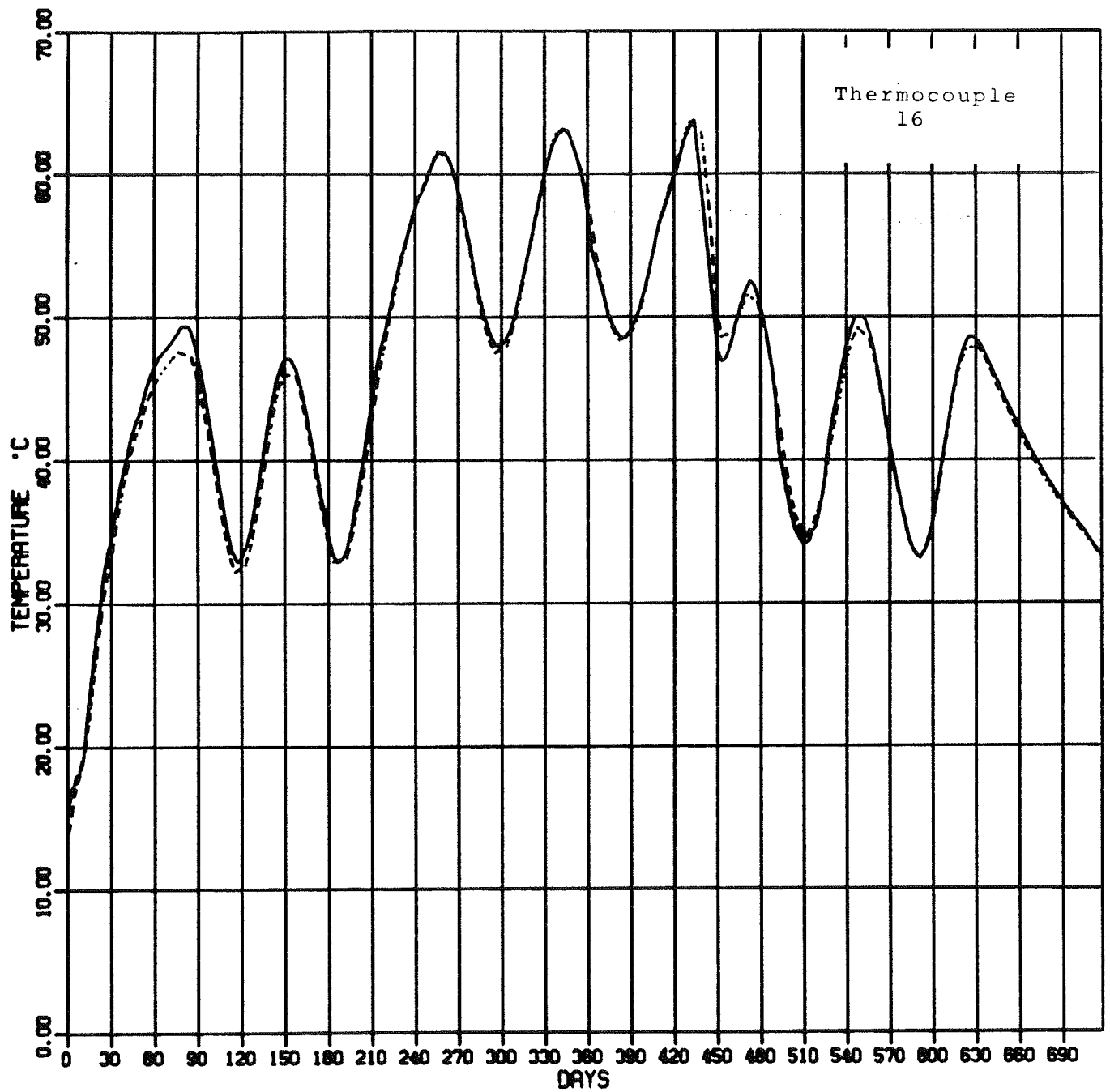
SOIL TEMPERATURE



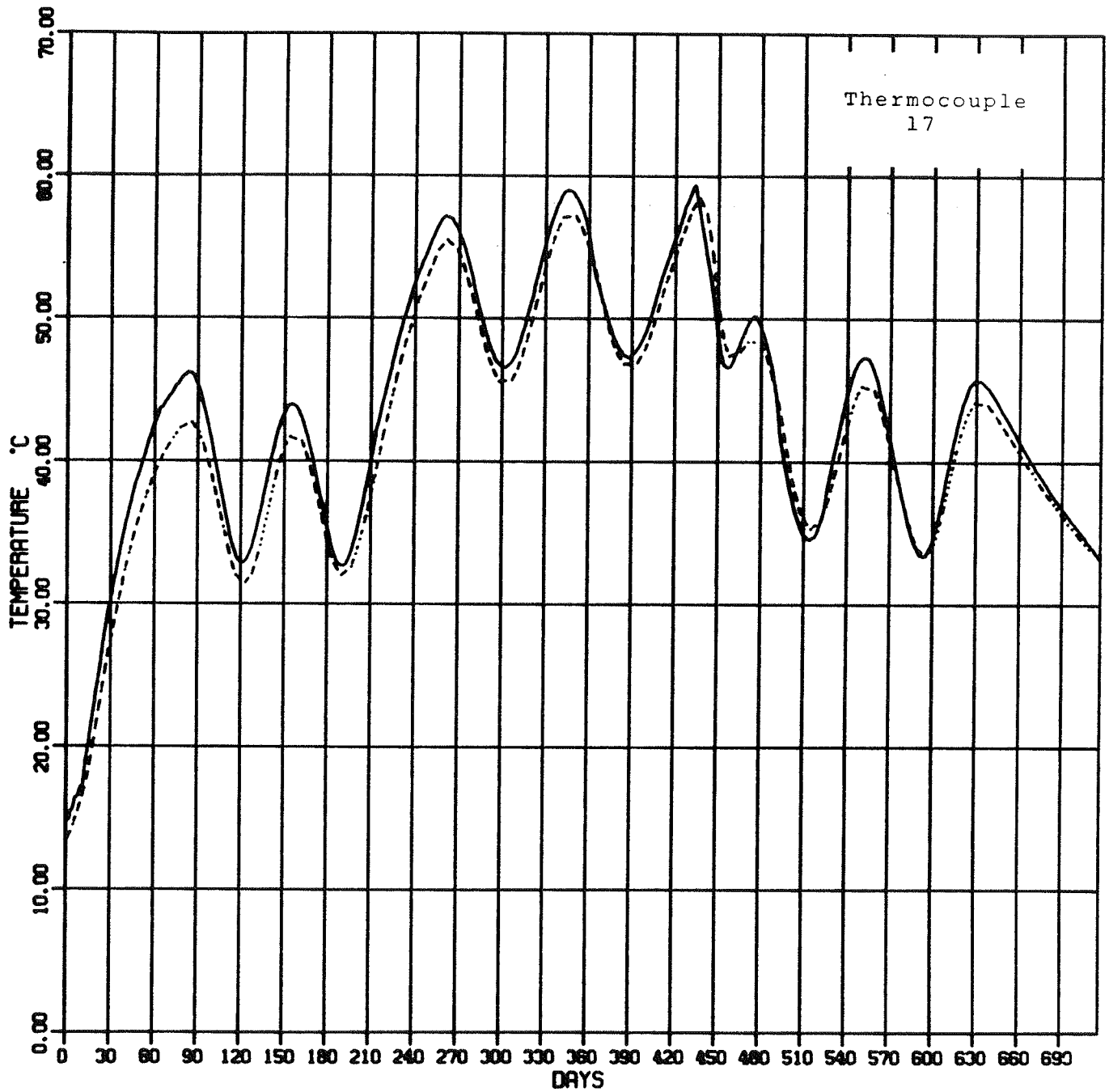
SOIL TEMPERATURE



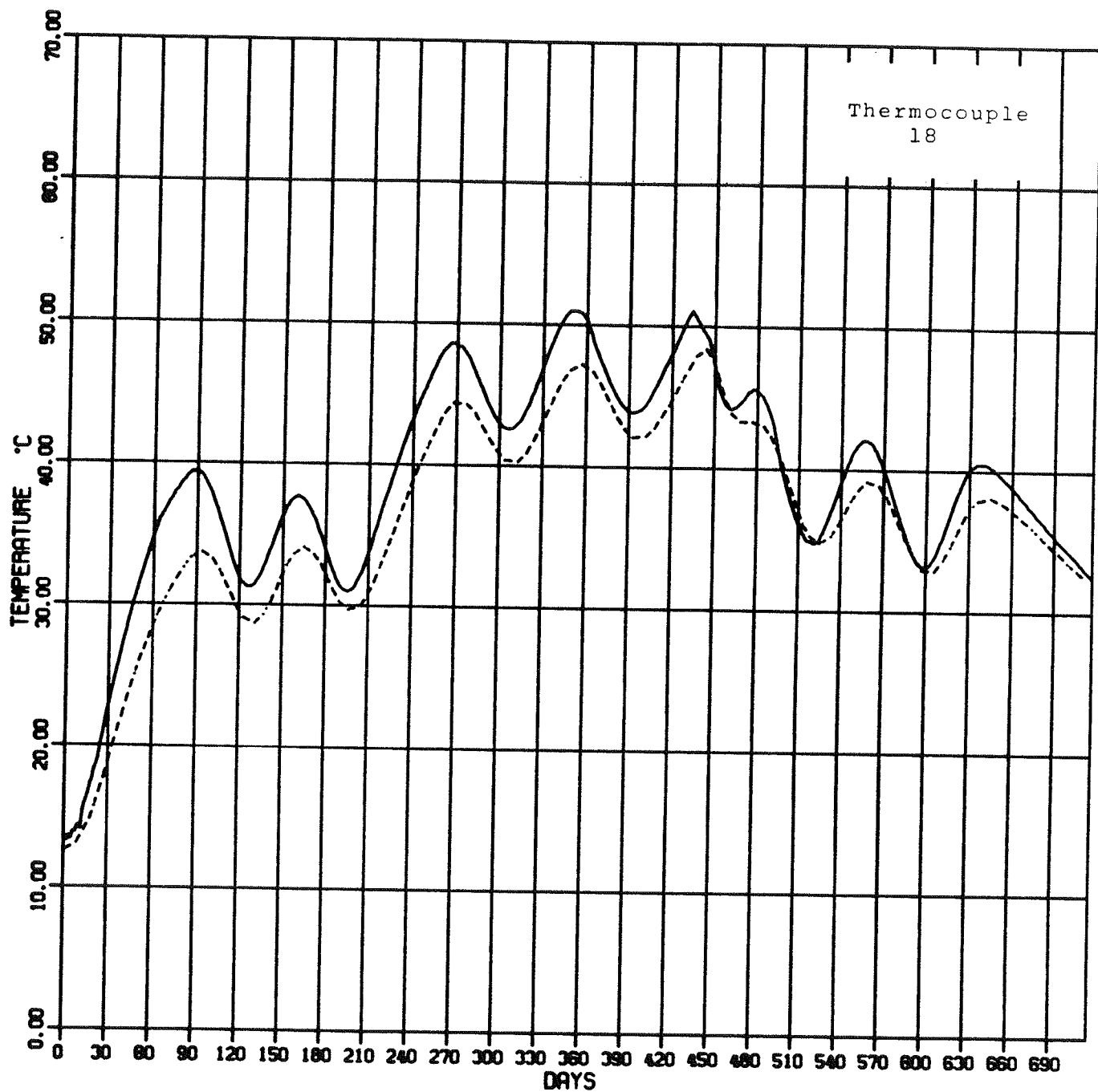
SOIL TEMPERATURE



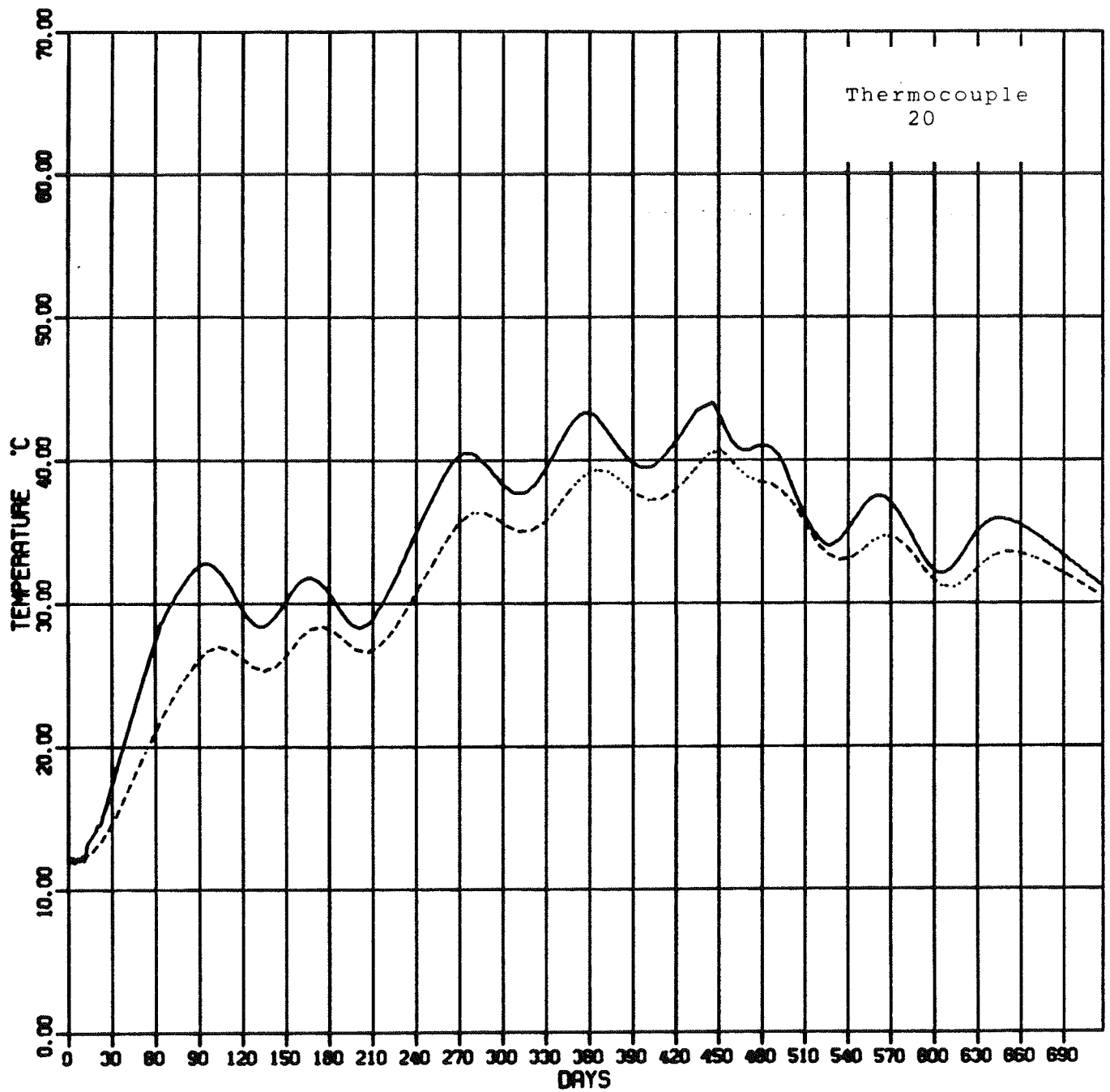
SOIL TEMPERATURE



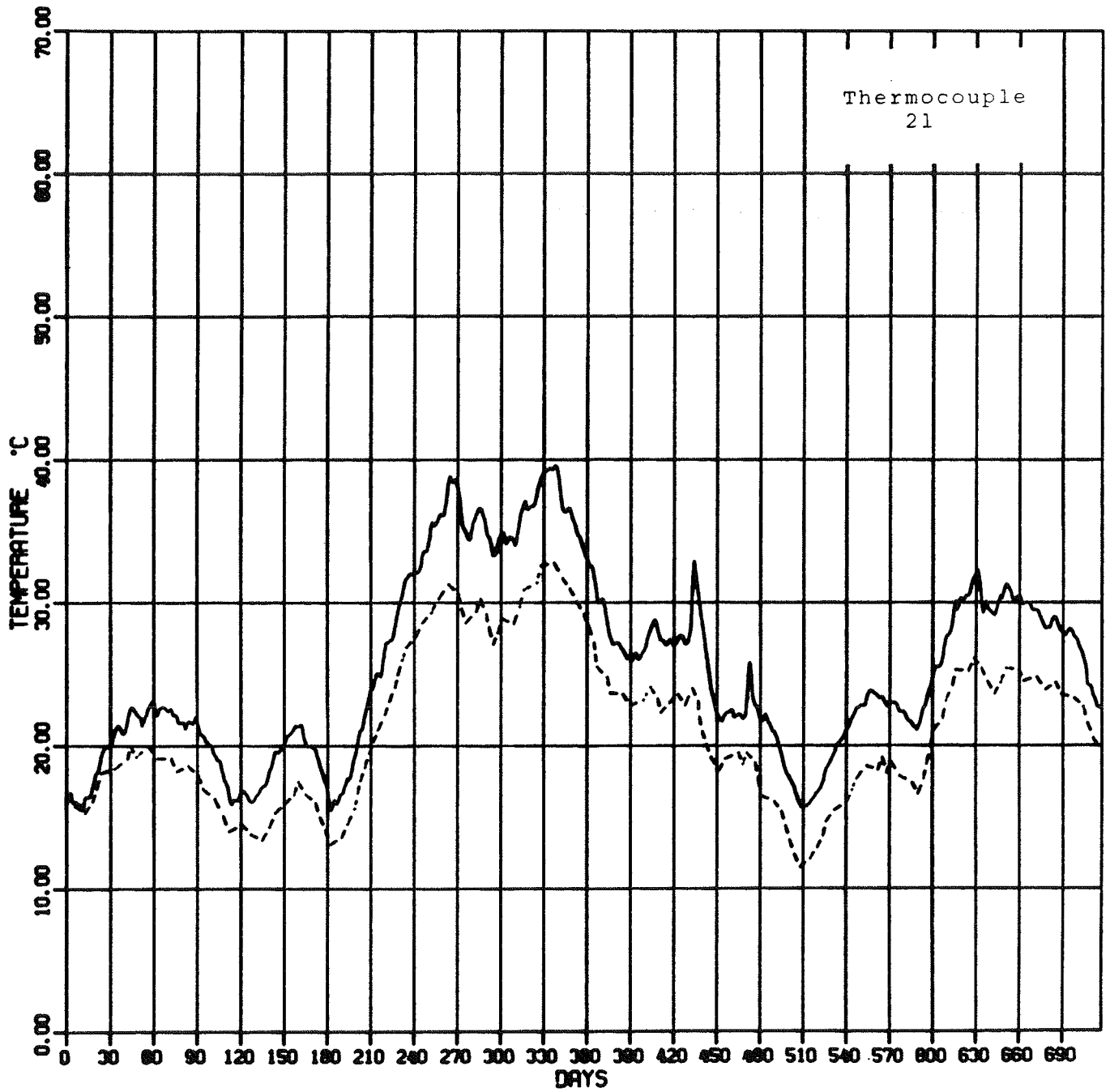
SOIL TEMPERATURE



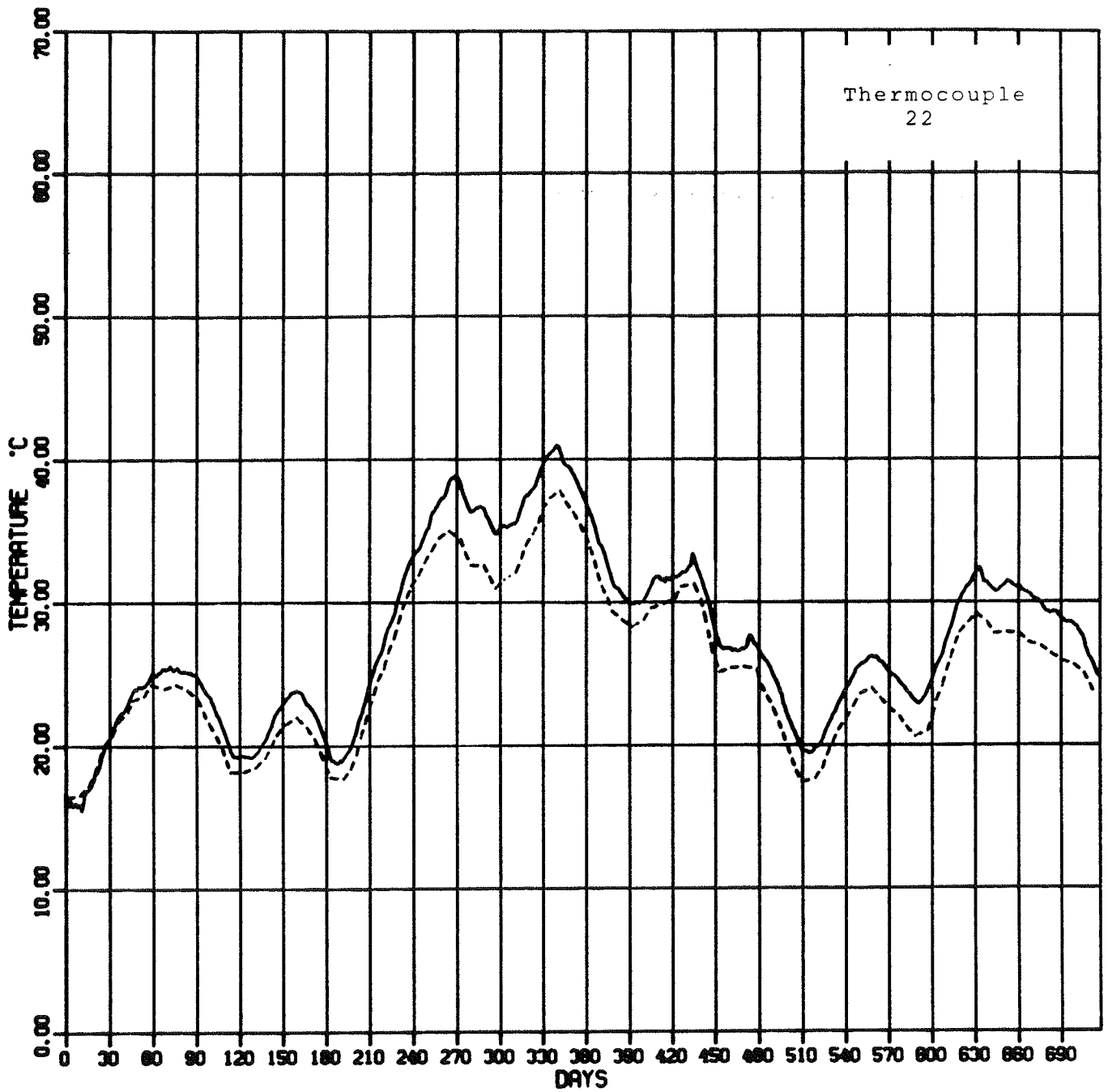
SOIL TEMPERATURE



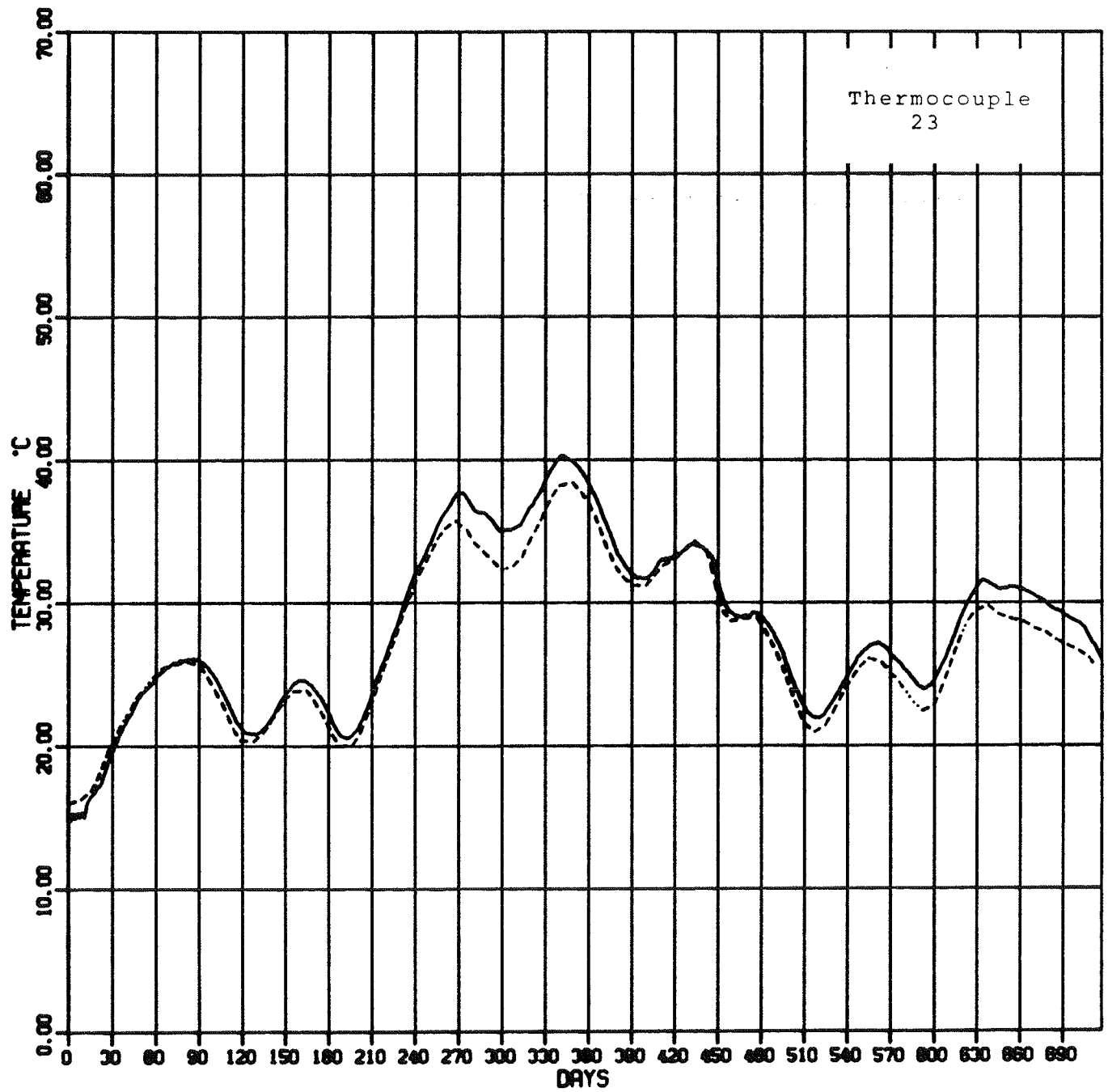
SOIL TEMPERATURE



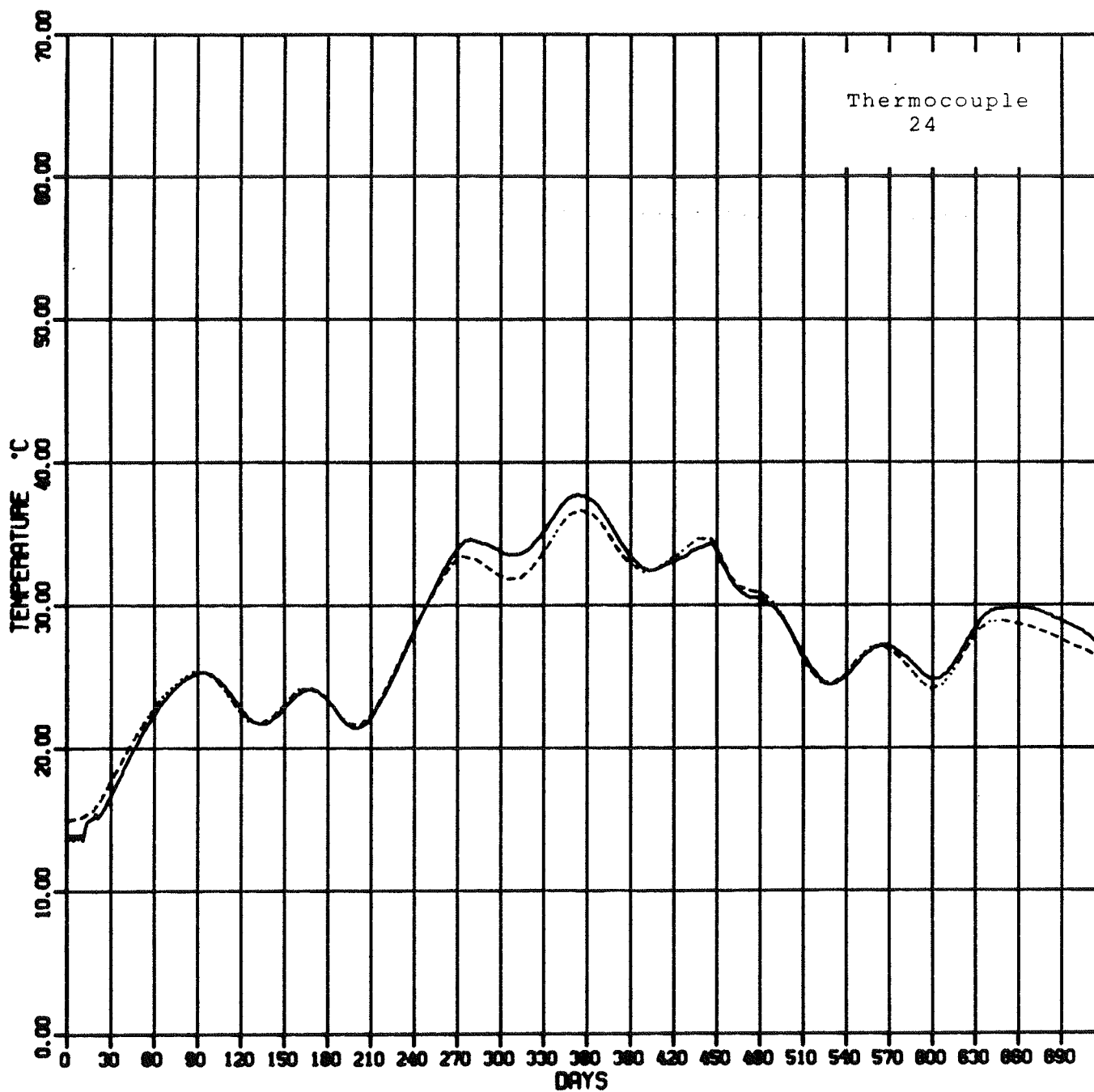
SOIL TEMPERATURE



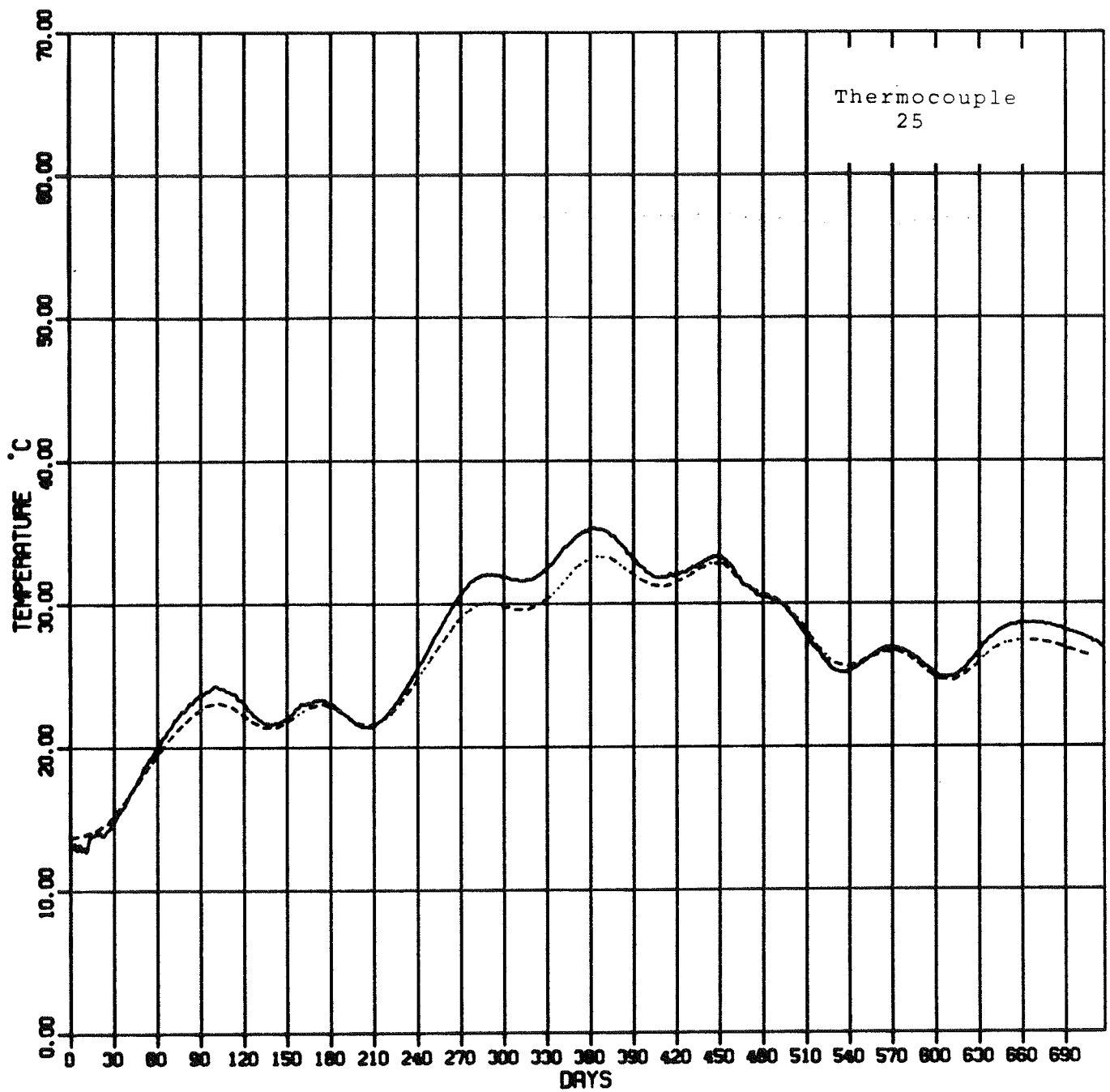
SOIL TEMPERATURE



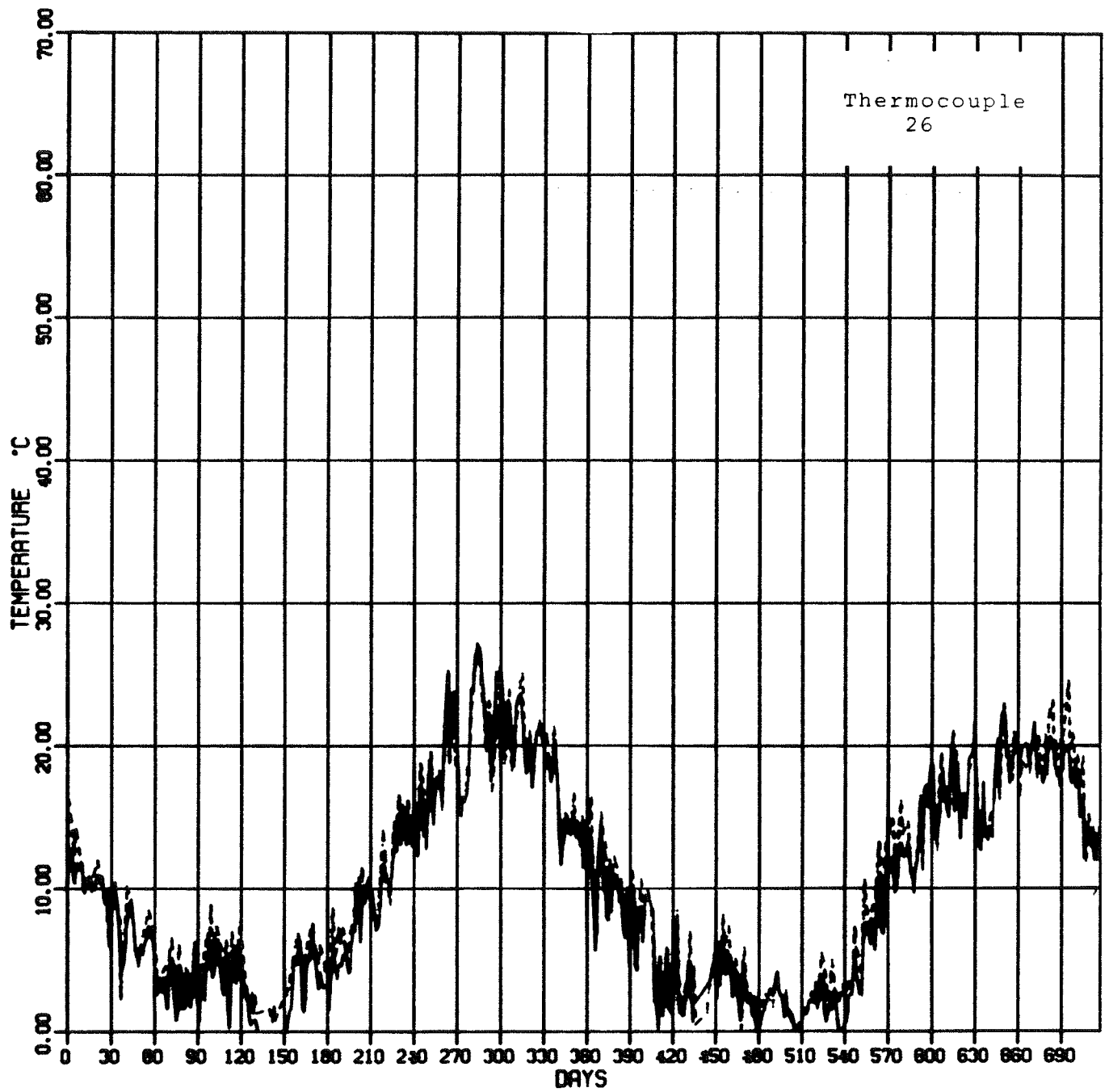
SOIL TEMPERATURE



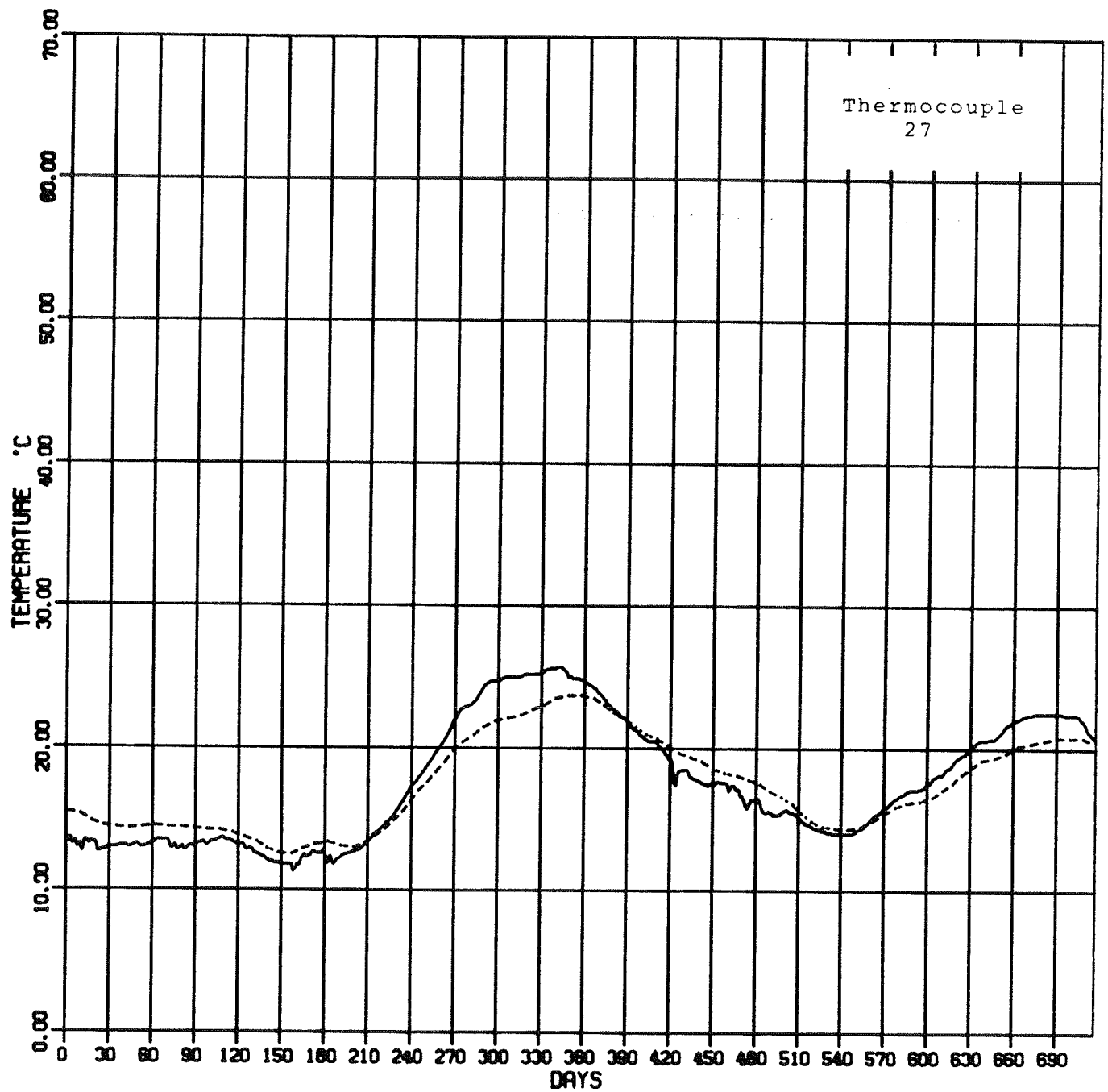
SOIL TEMPERATURE



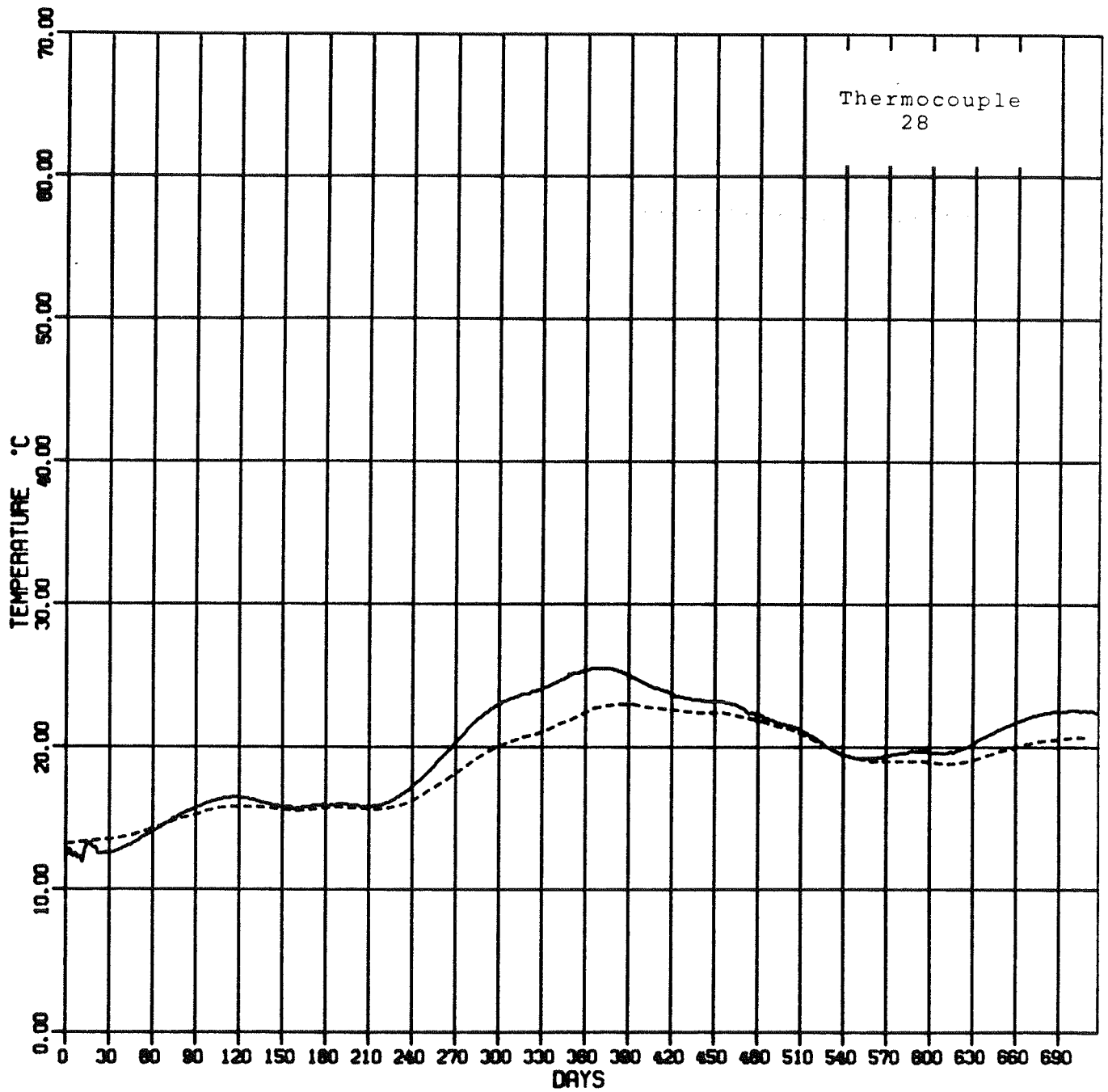
SOIL TEMPERATURE



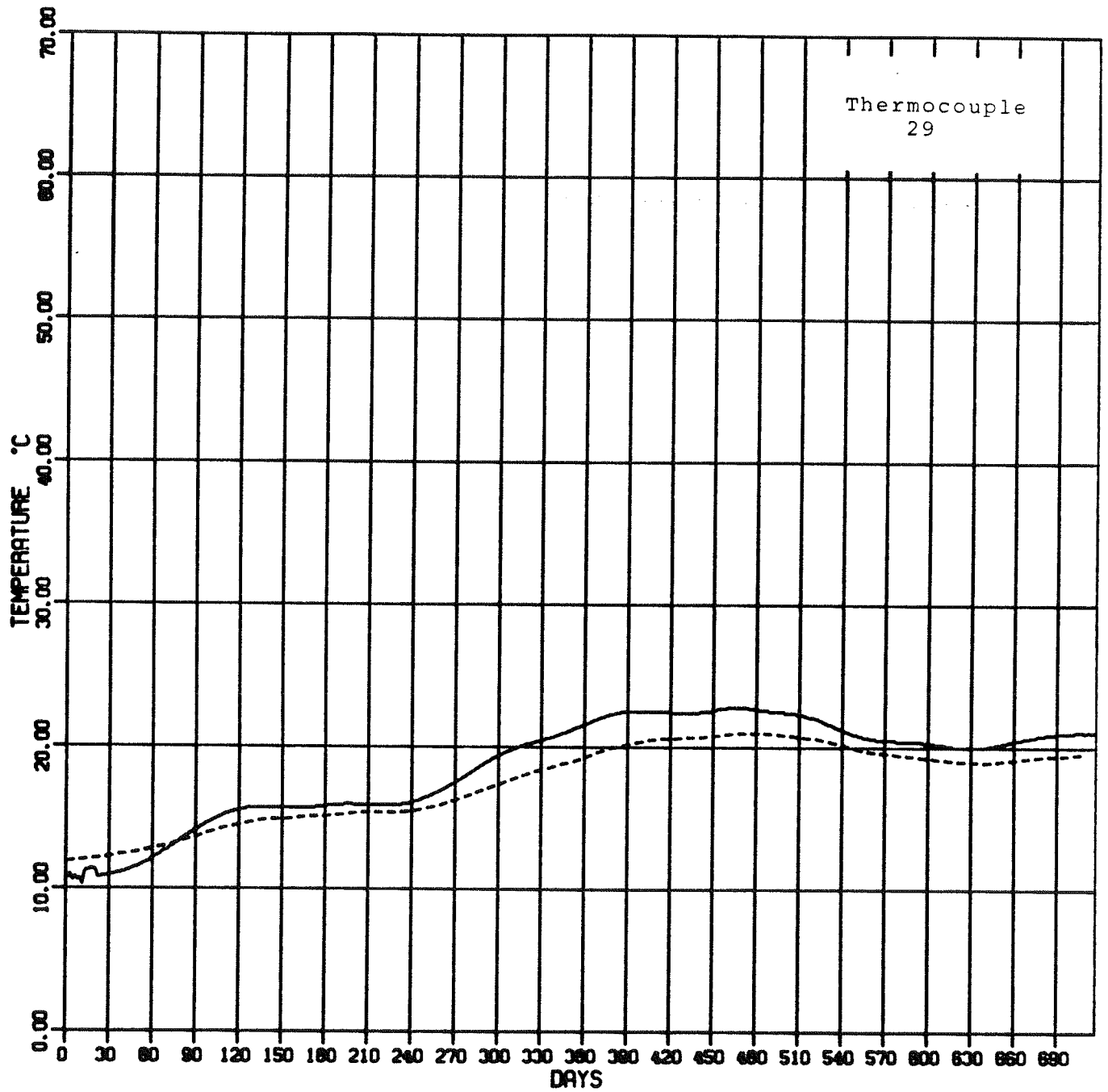
SOIL TEMPERATURE



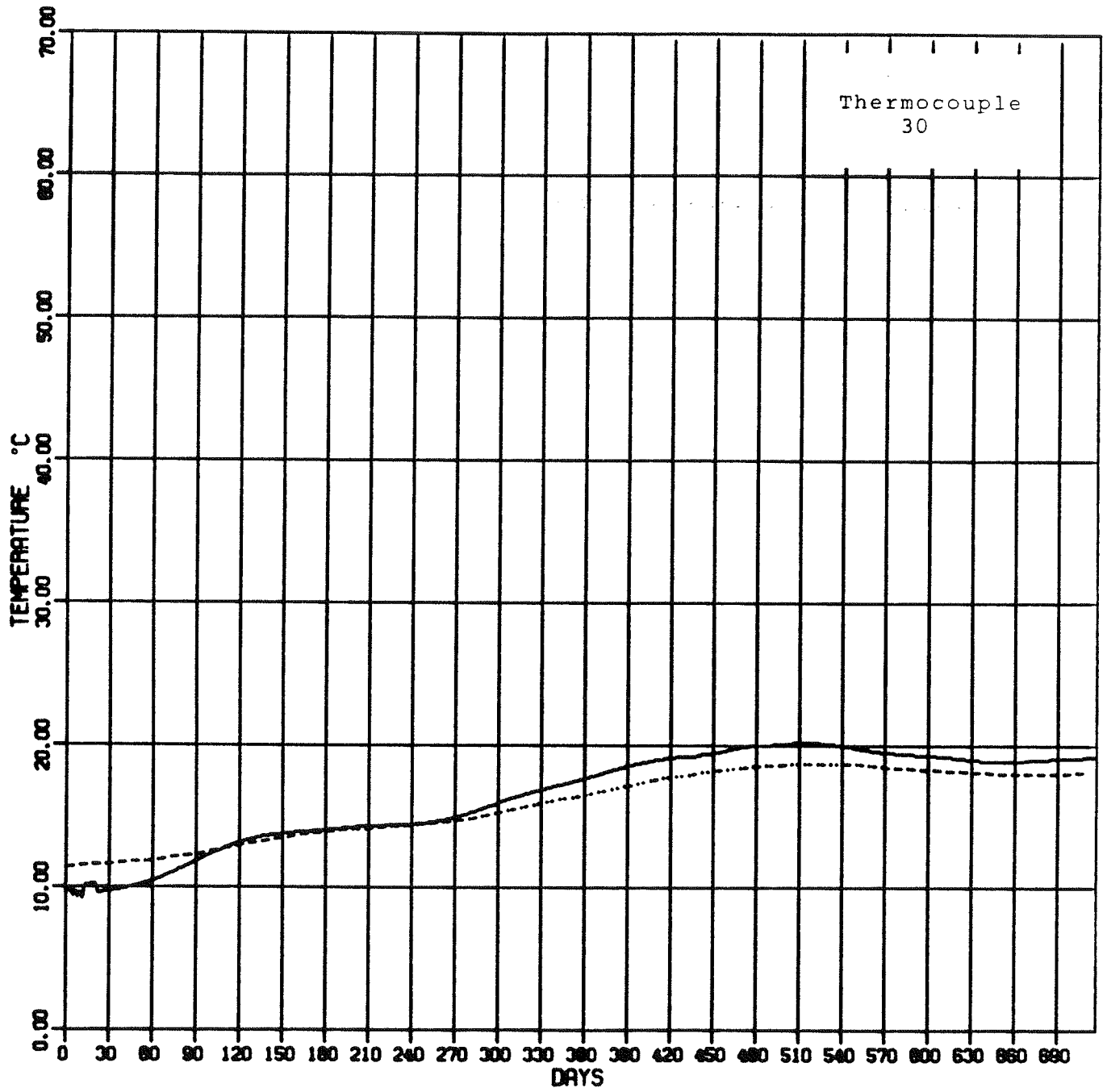
SOIL TEMPERATURE



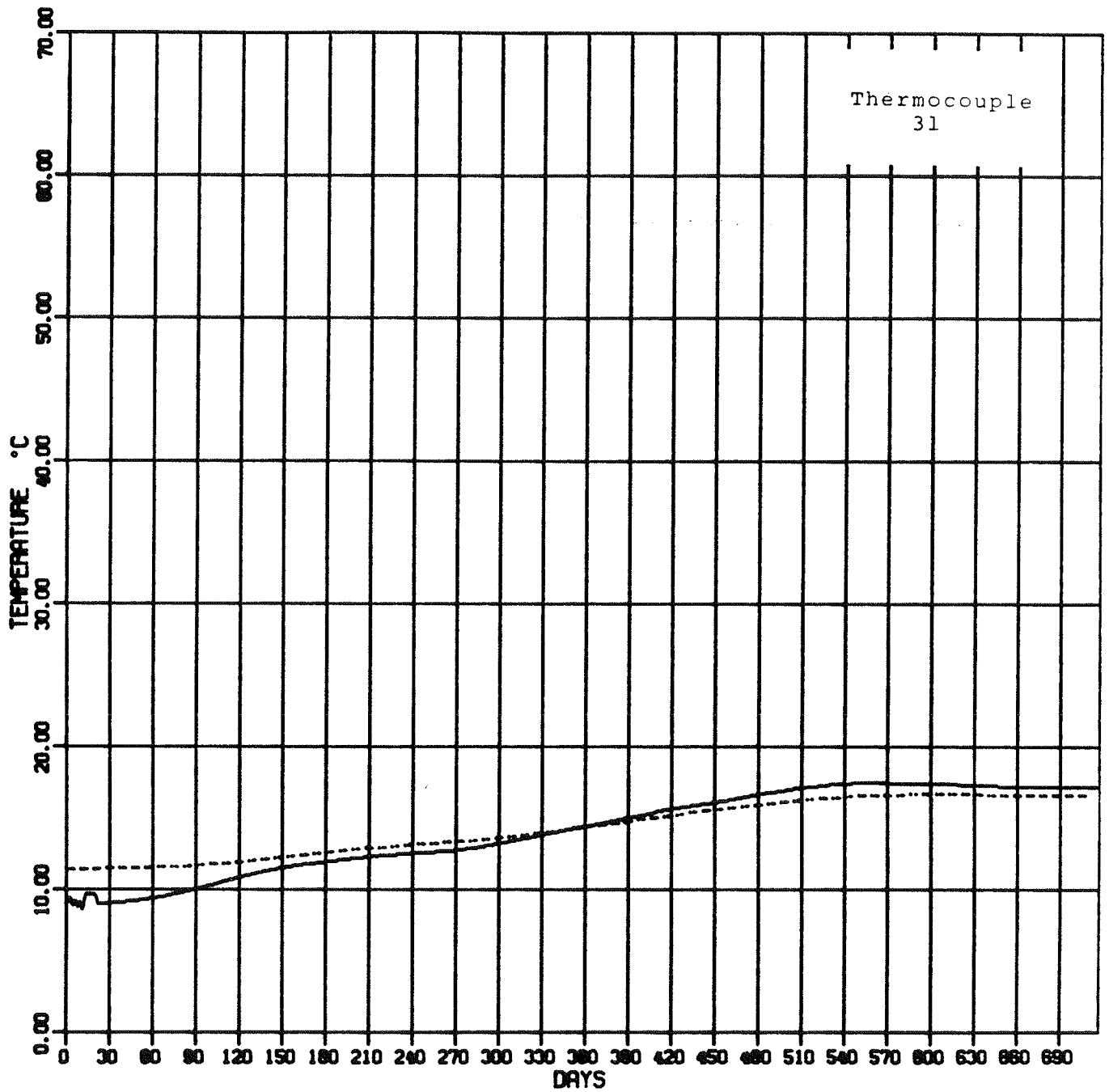
SOIL TEMPERATURE



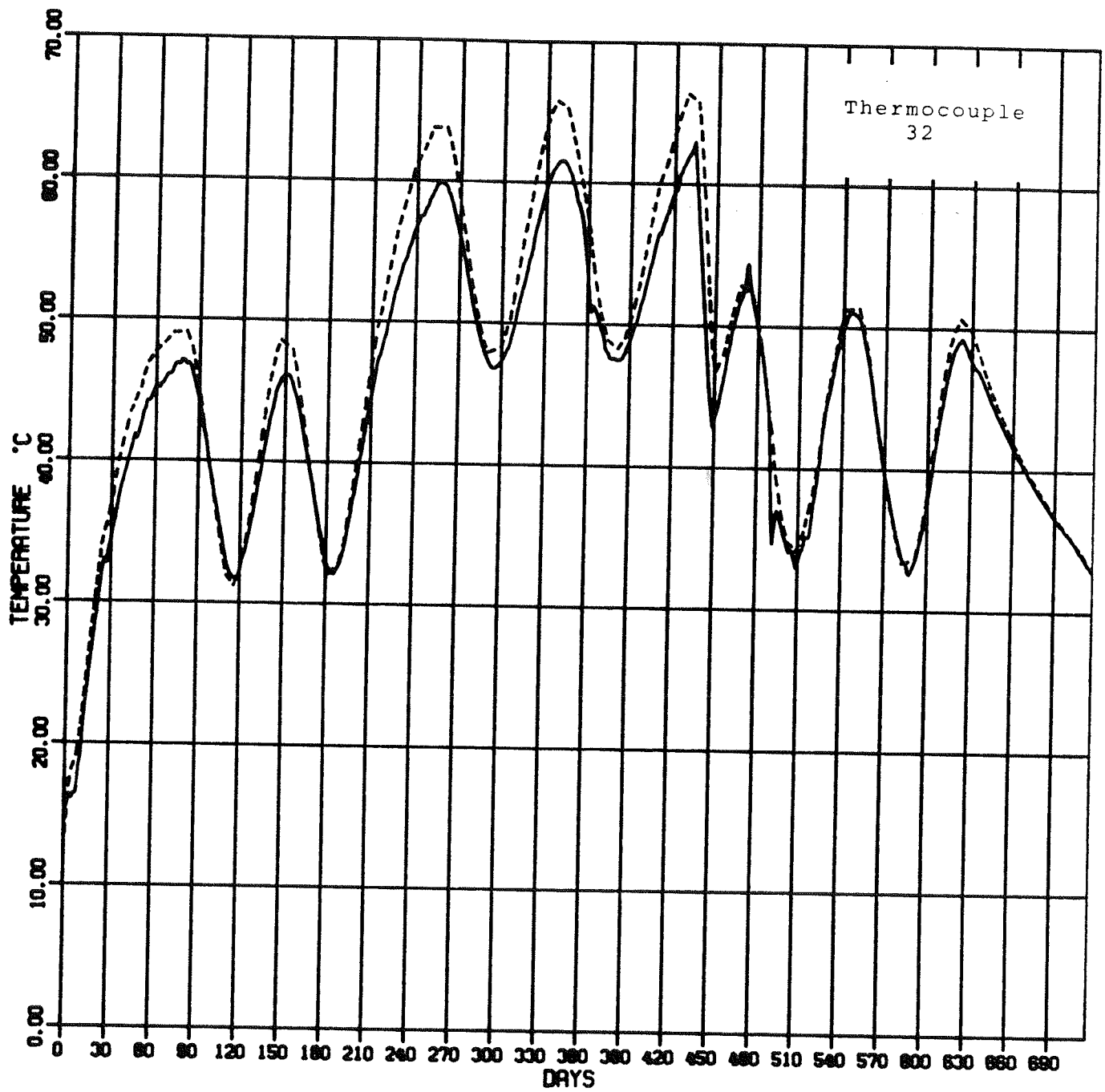
SOIL TEMPERATURE



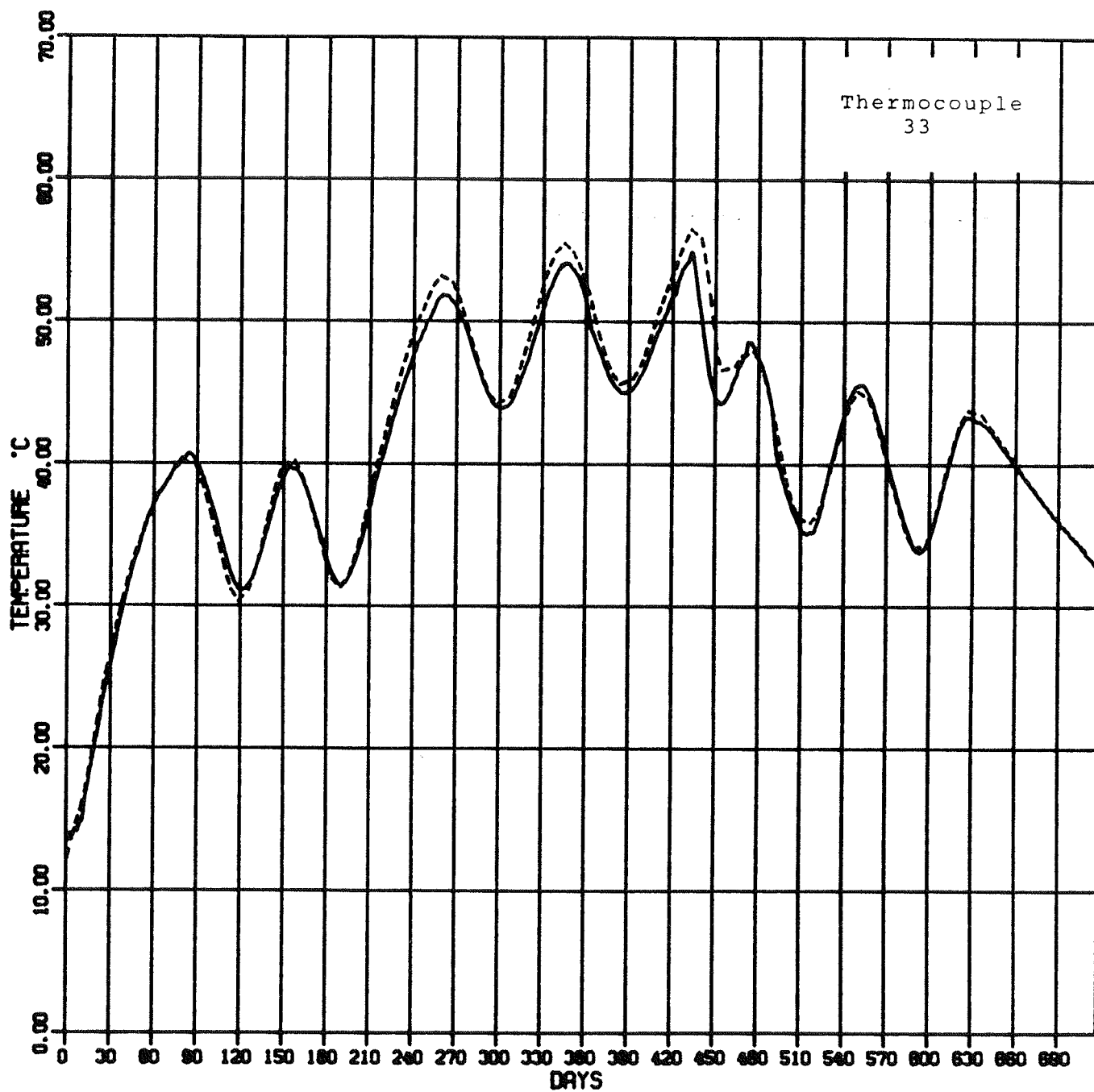
SOIL TEMPERATURE



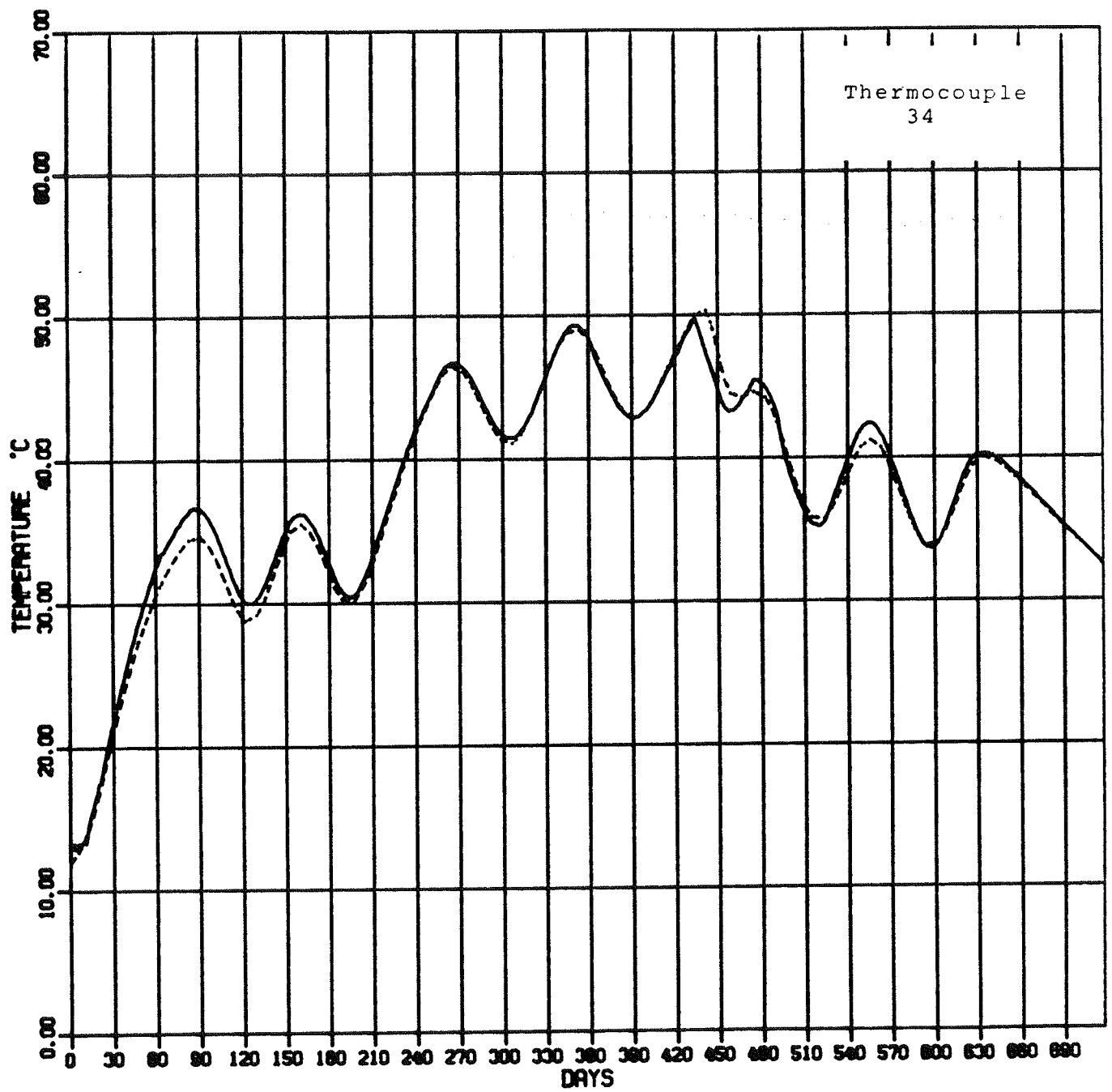
SOIL TEMPERATURE



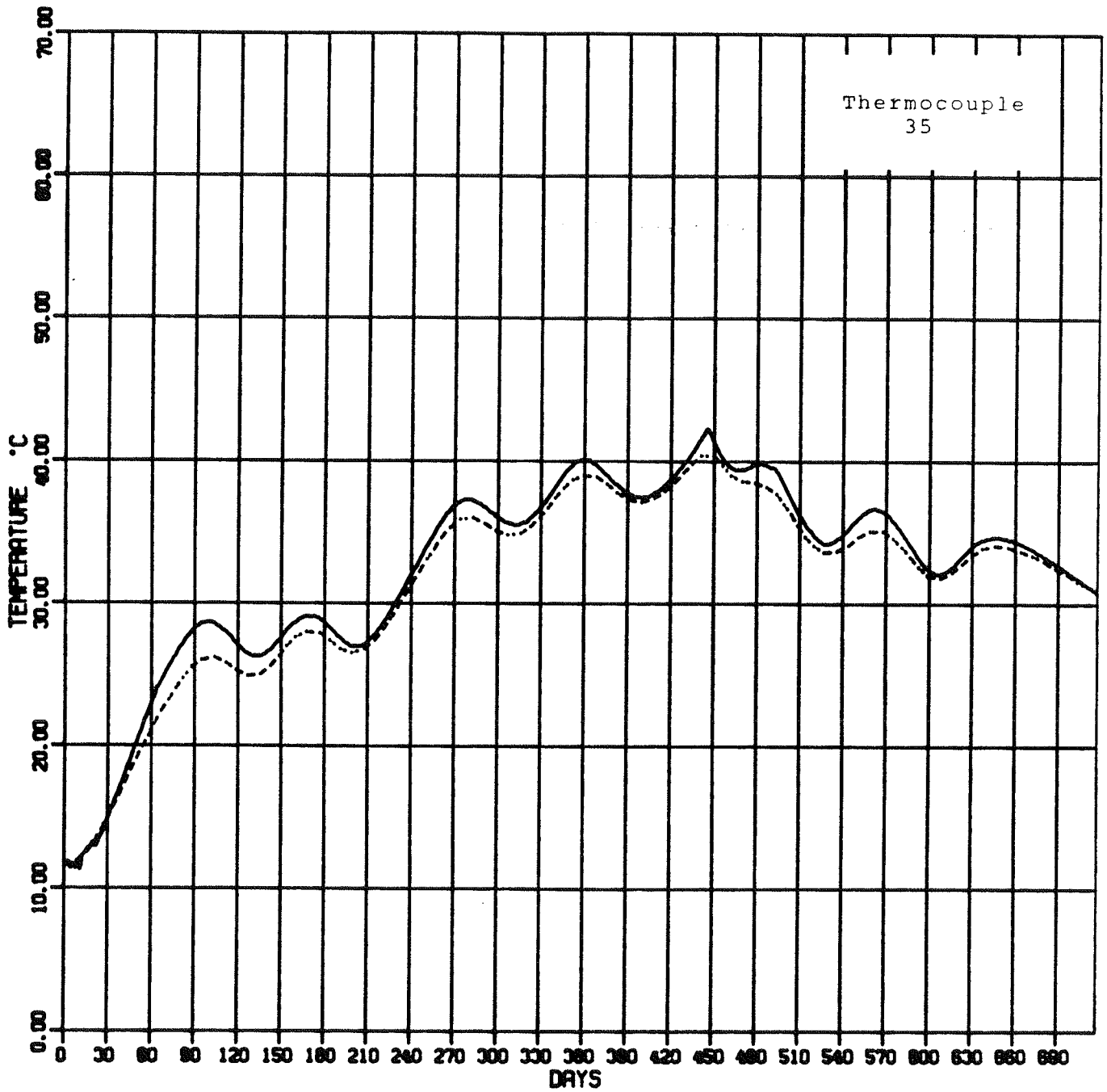
SOIL TEMPERATURE



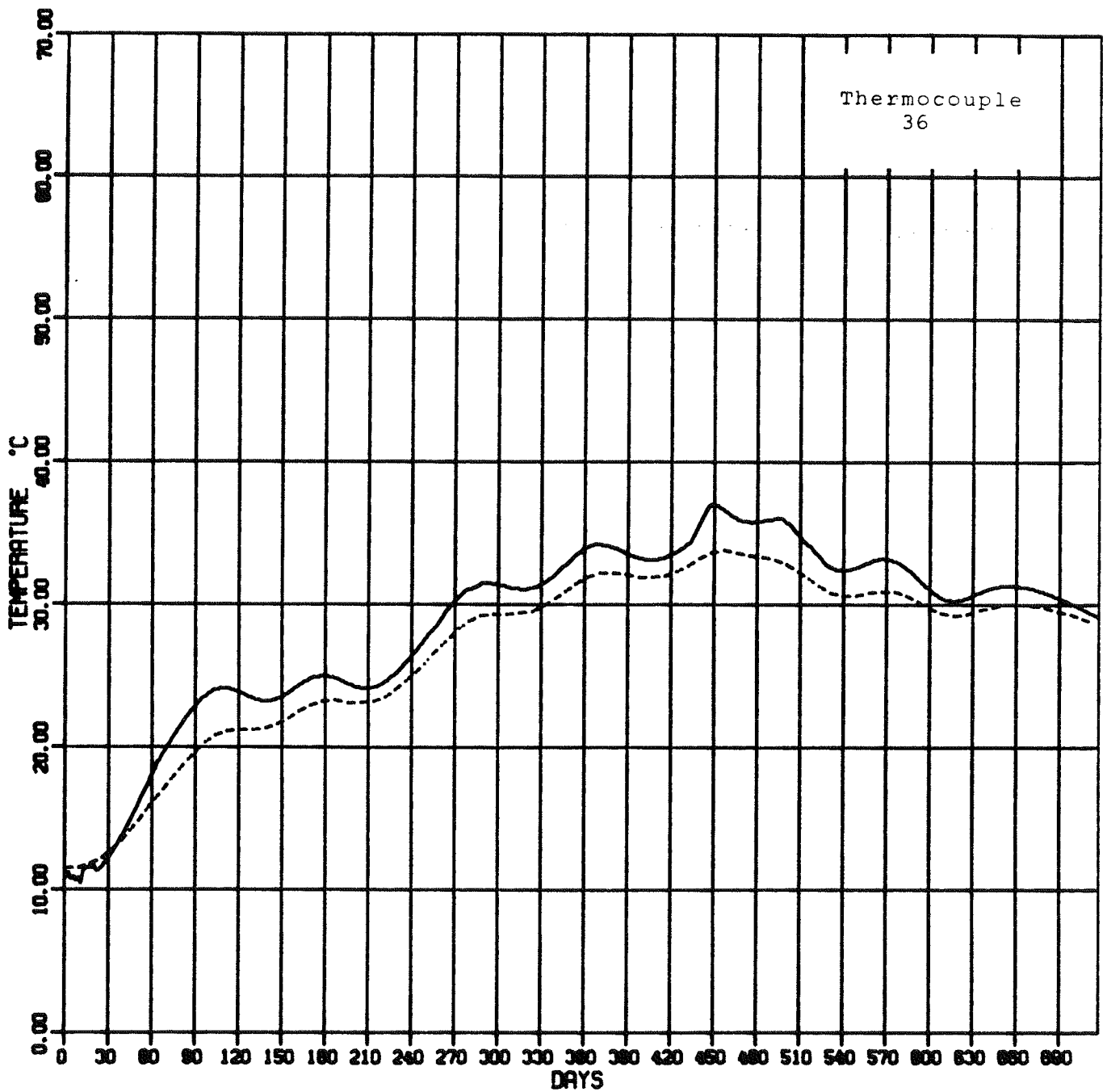
SOIL TEMPERATURE



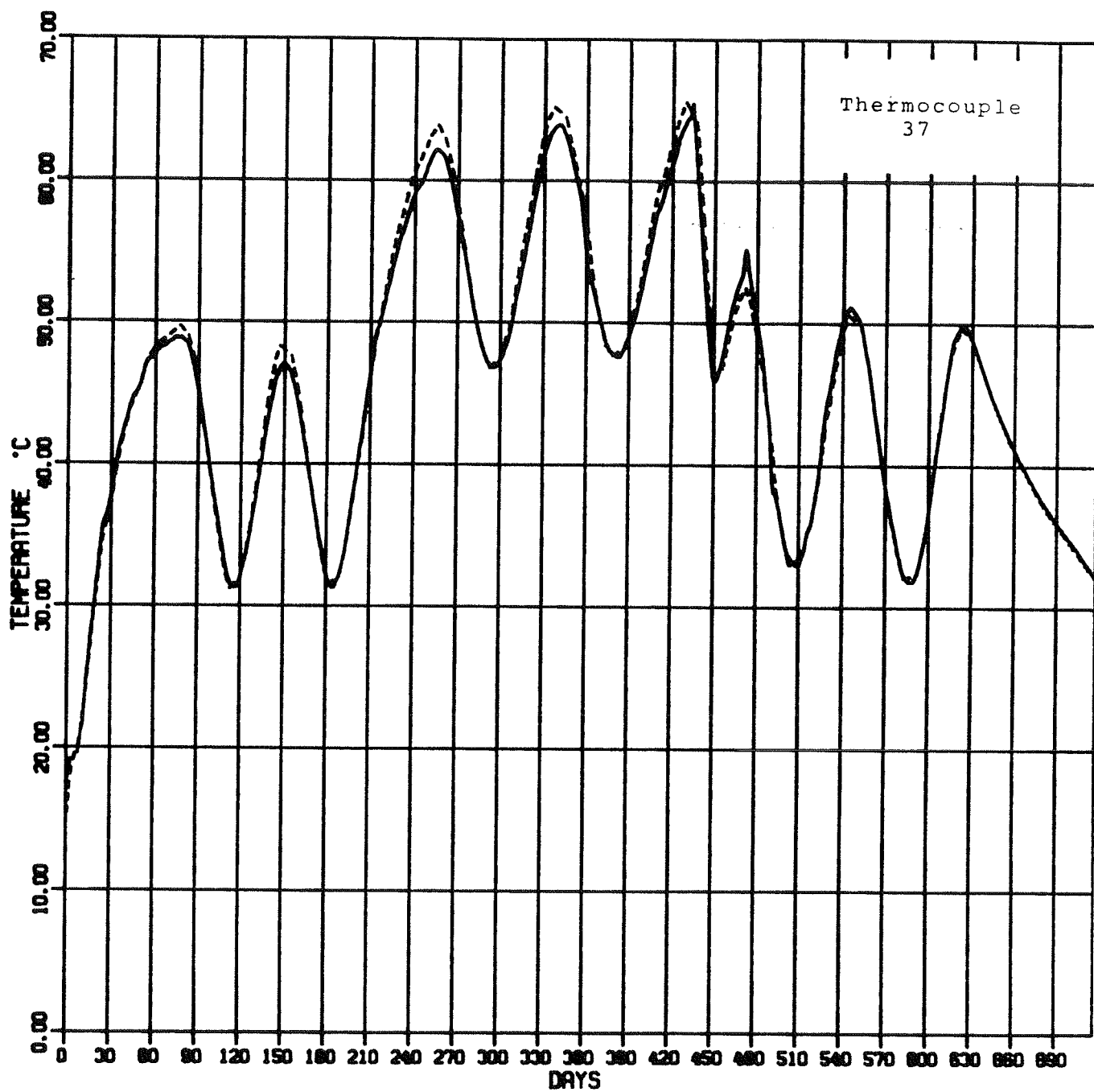
SOIL TEMPERATURE



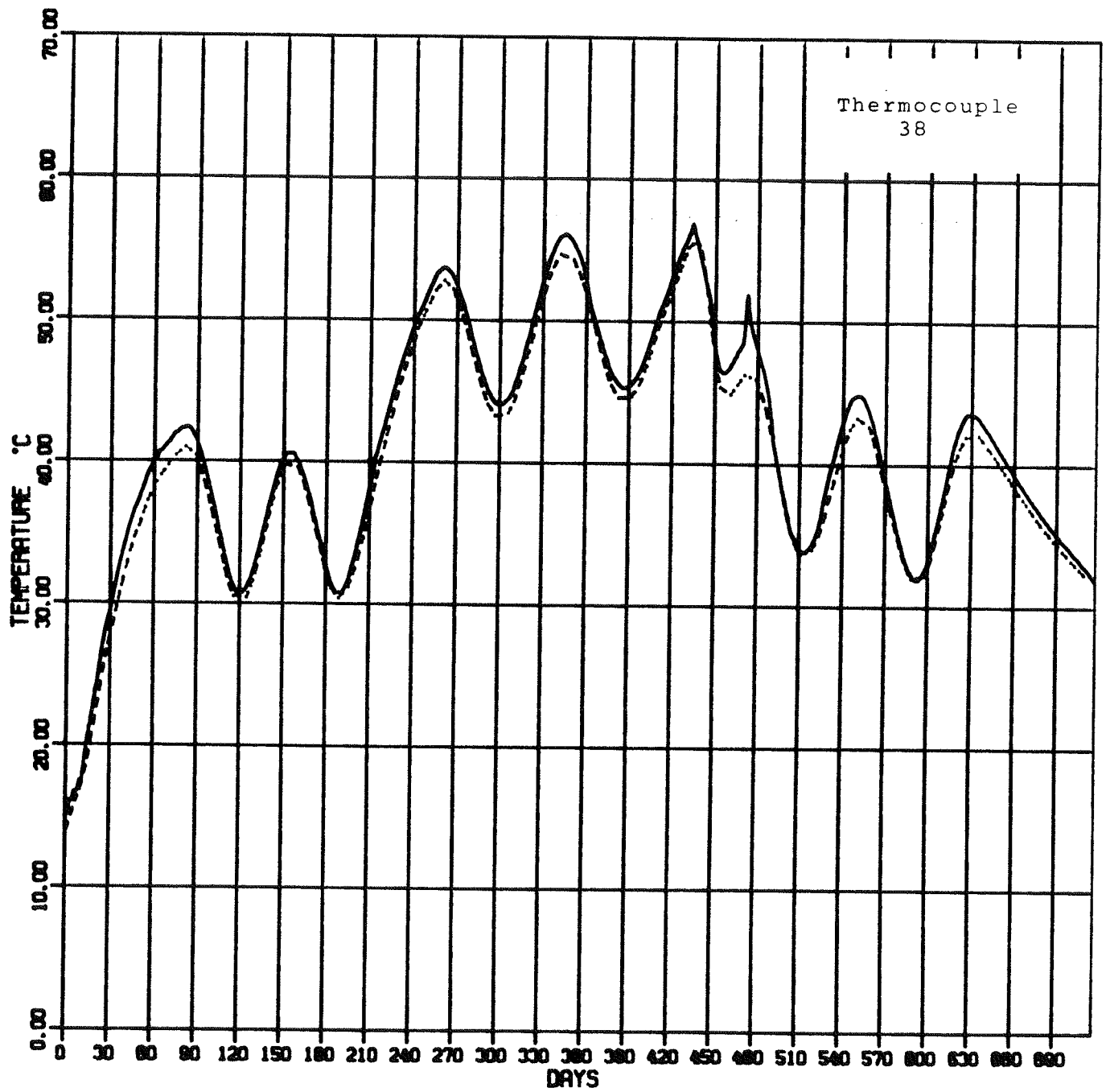
SOIL TEMPERATURE



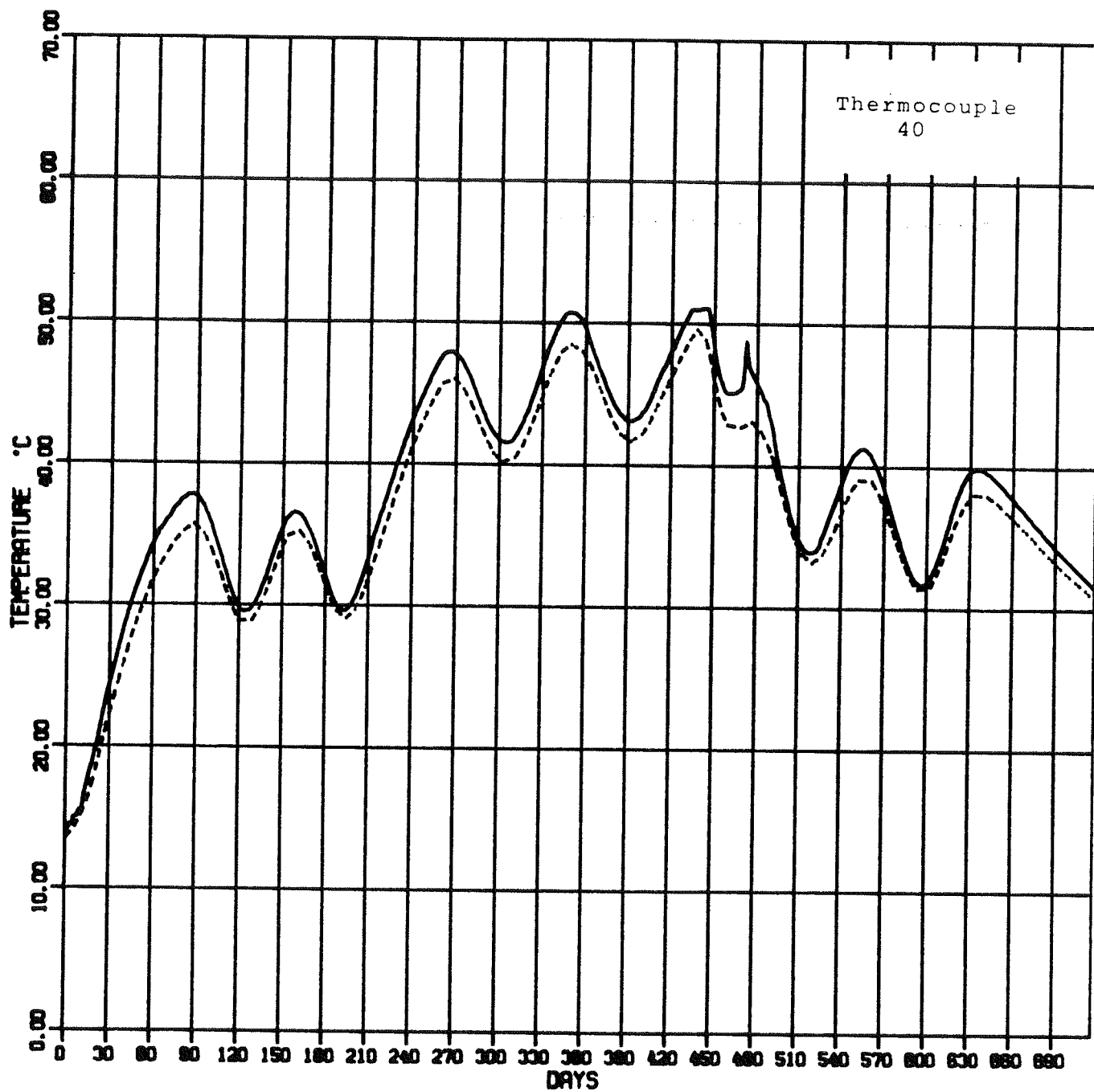
SOIL TEMPERATURE



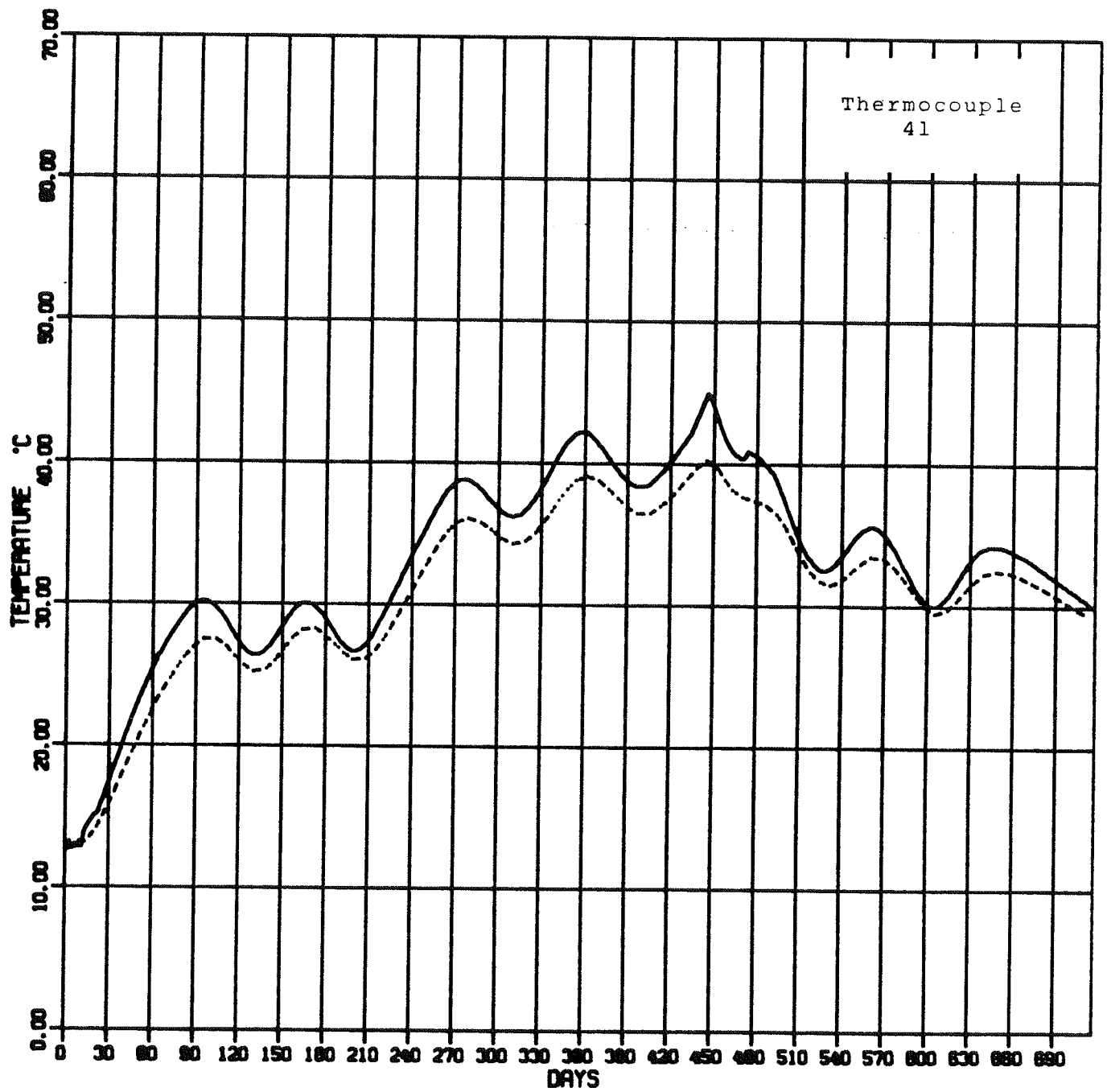
SOIL TEMPERATURE



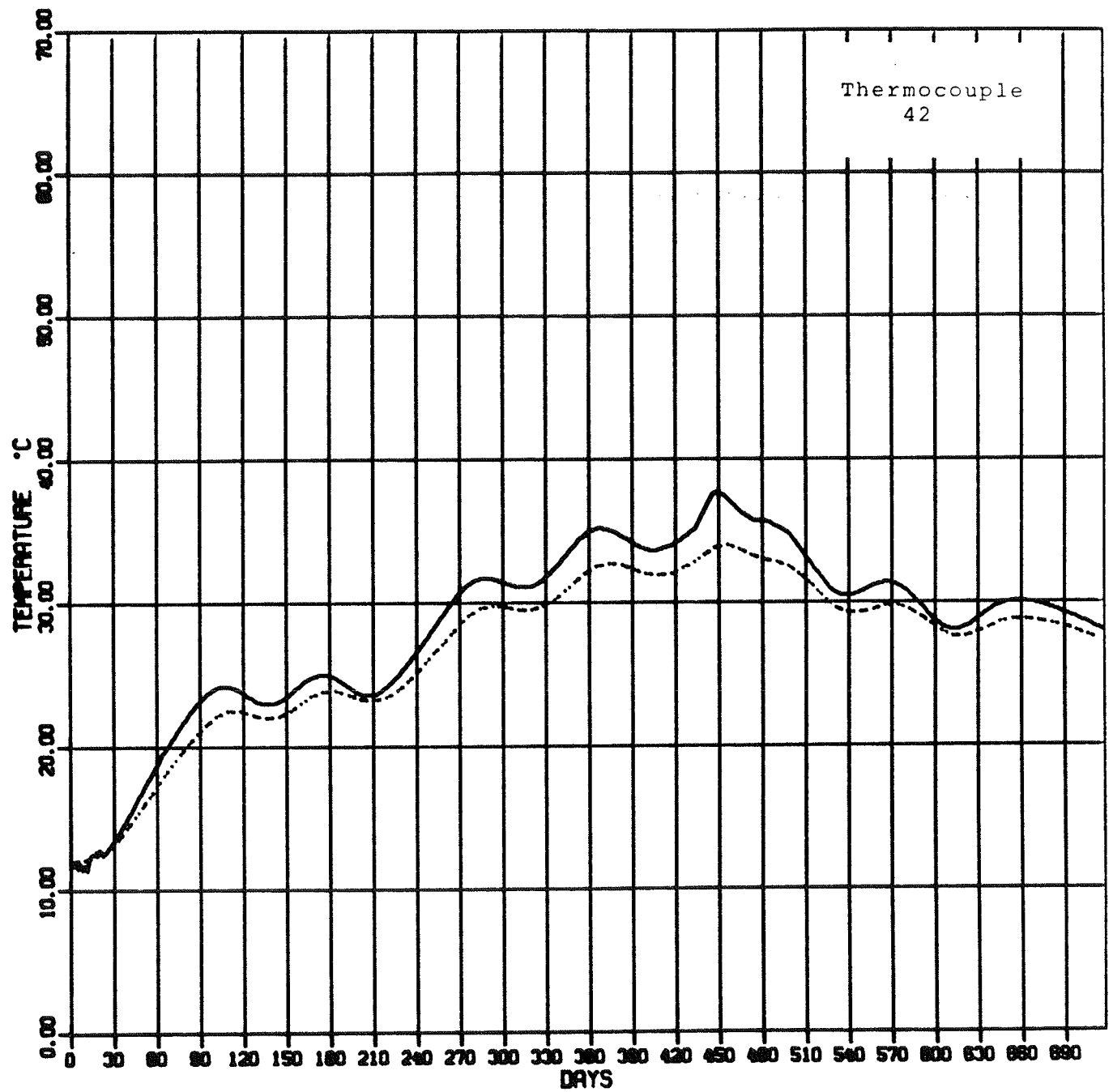
SOIL TEMPERATURE



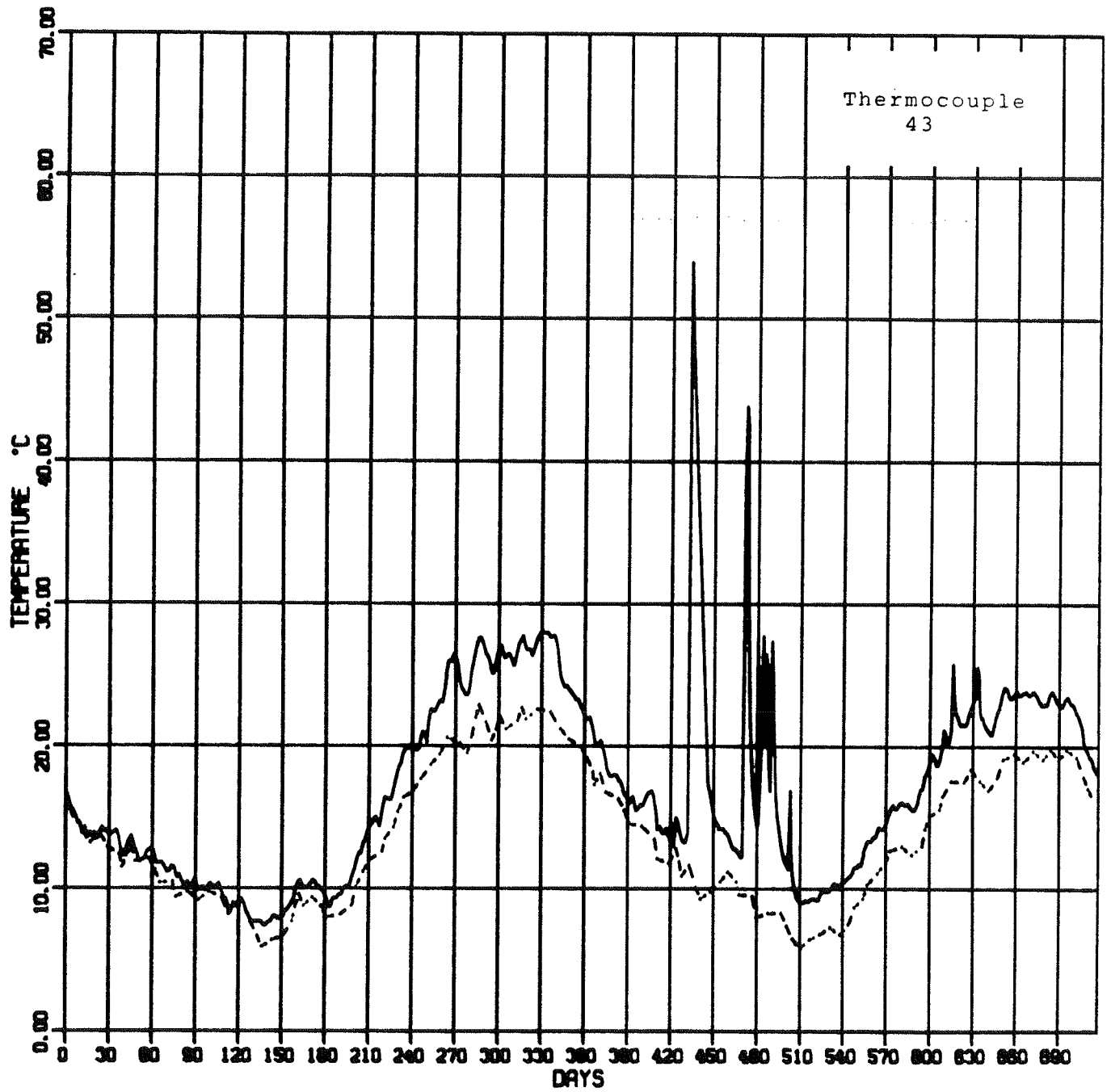
SOIL TEMPERATURE



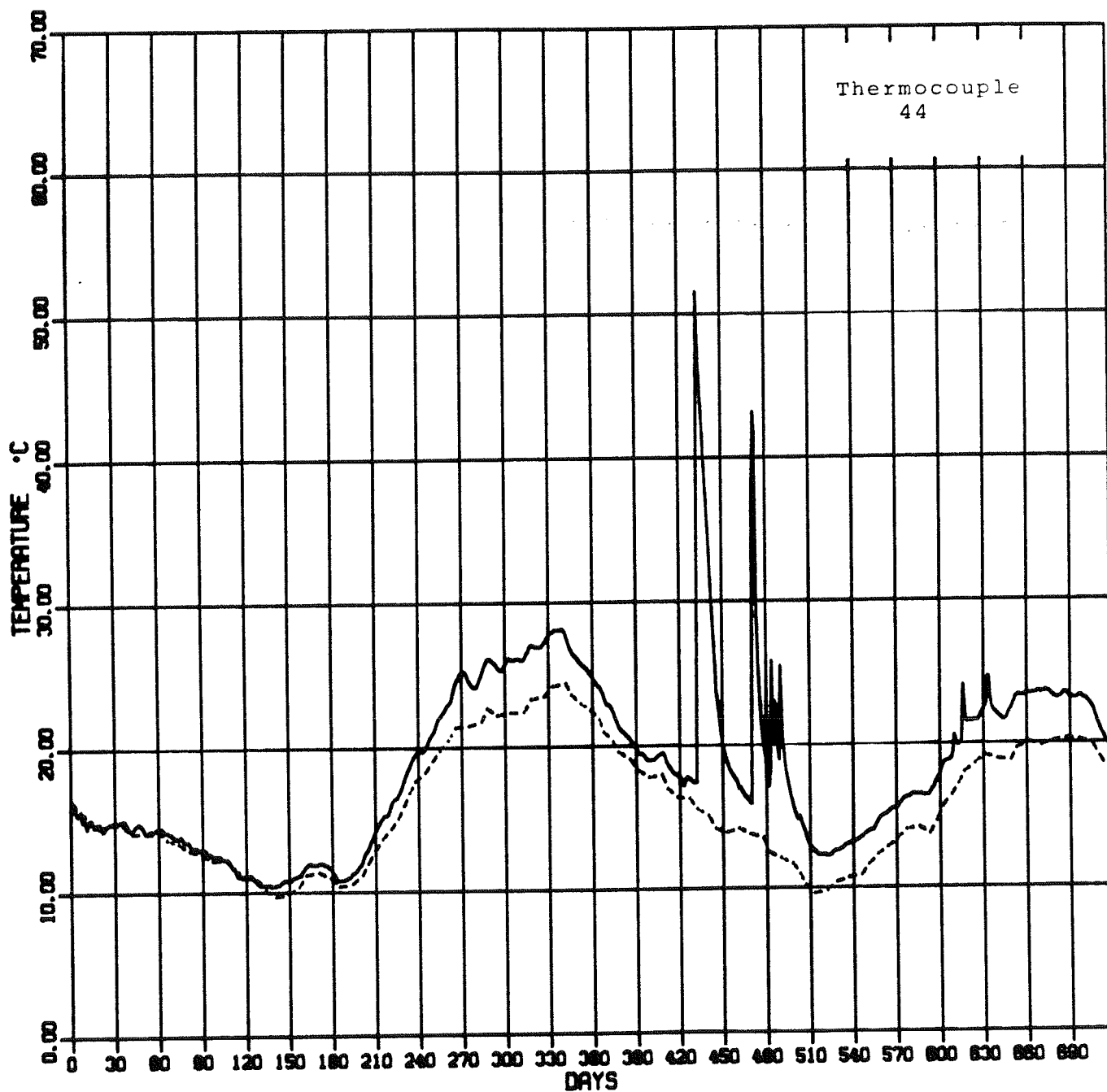
SOIL TEMPERATURE



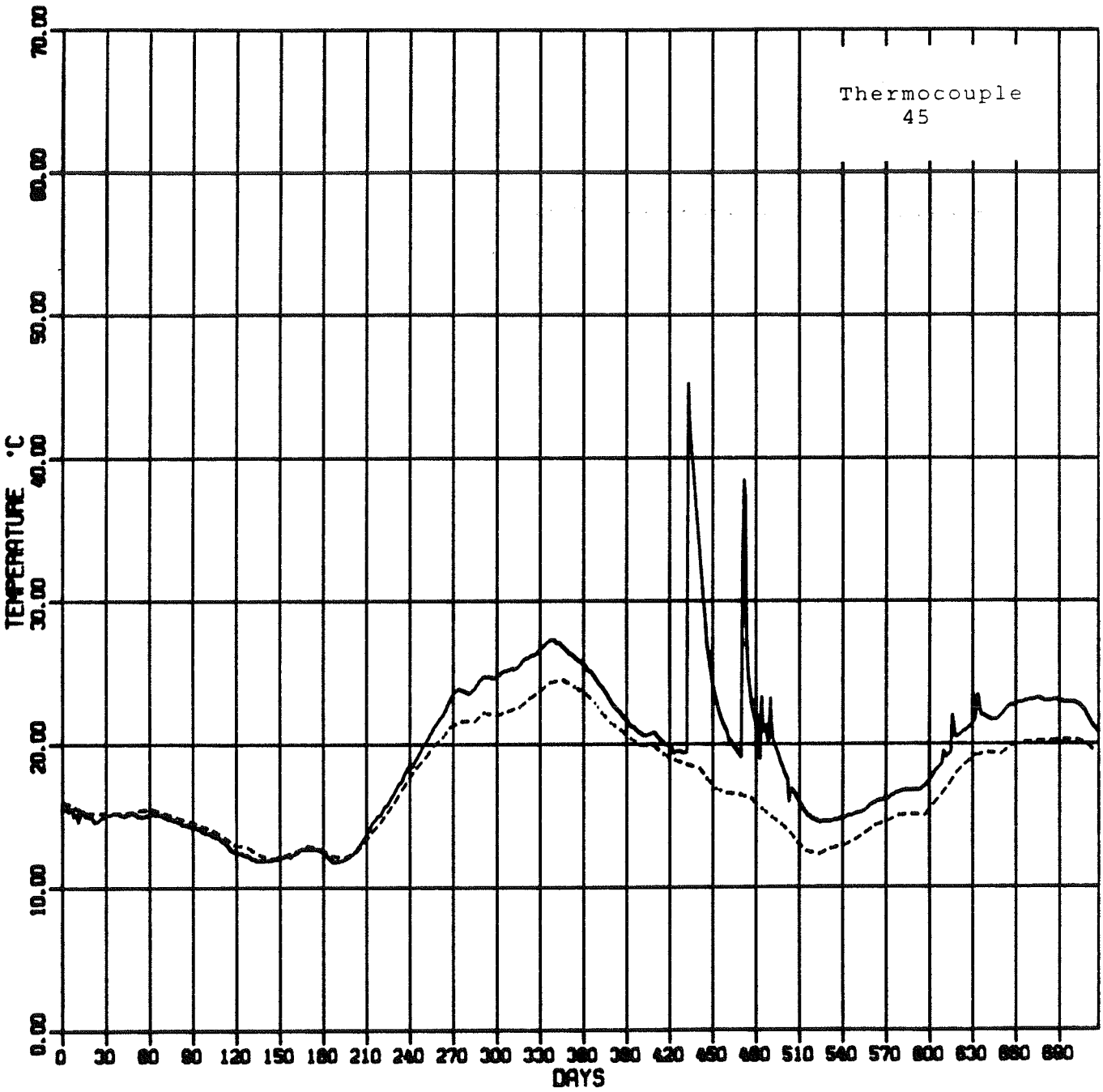
SOIL TEMPERATURE



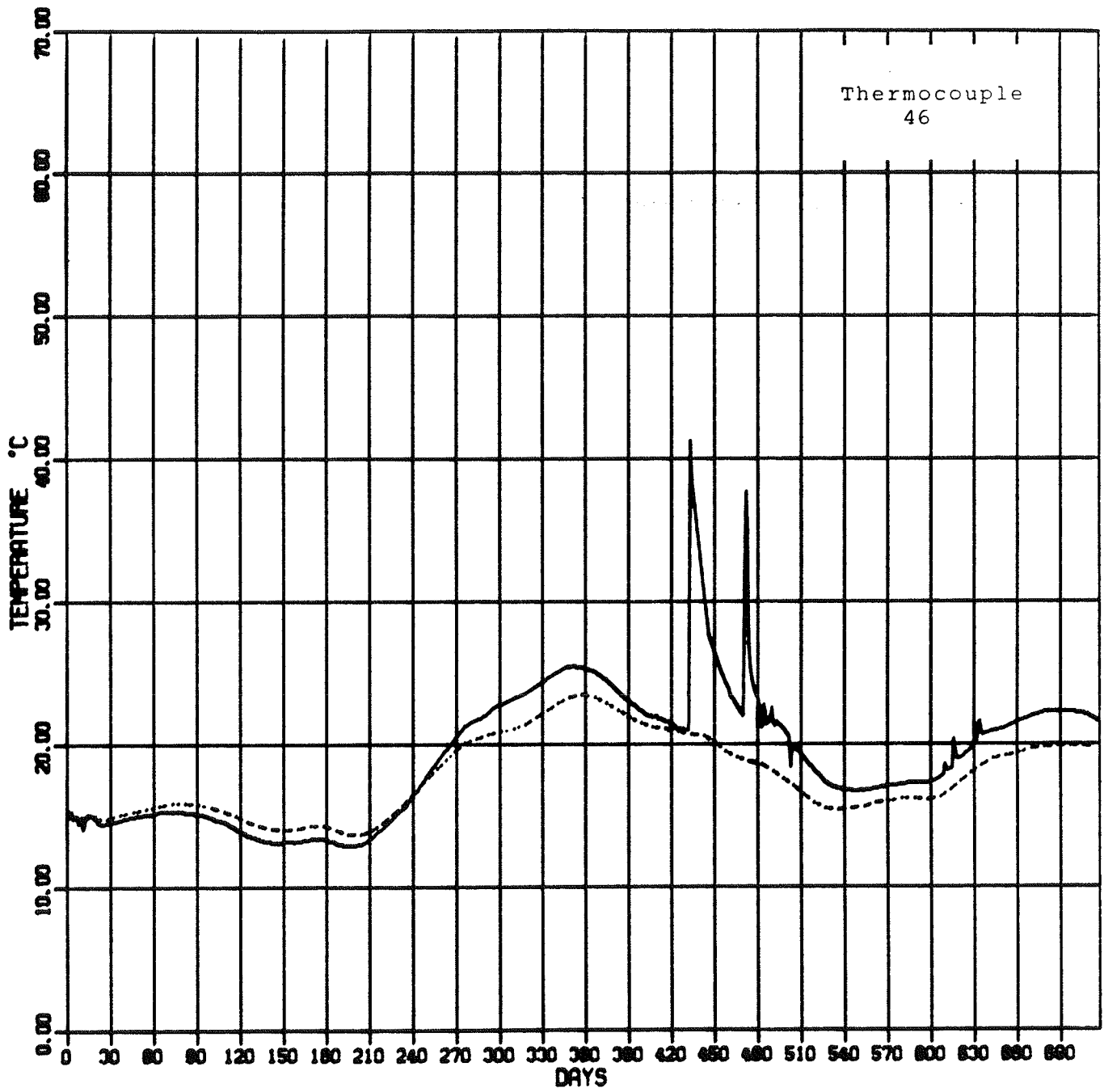
SOIL TEMPERATURE



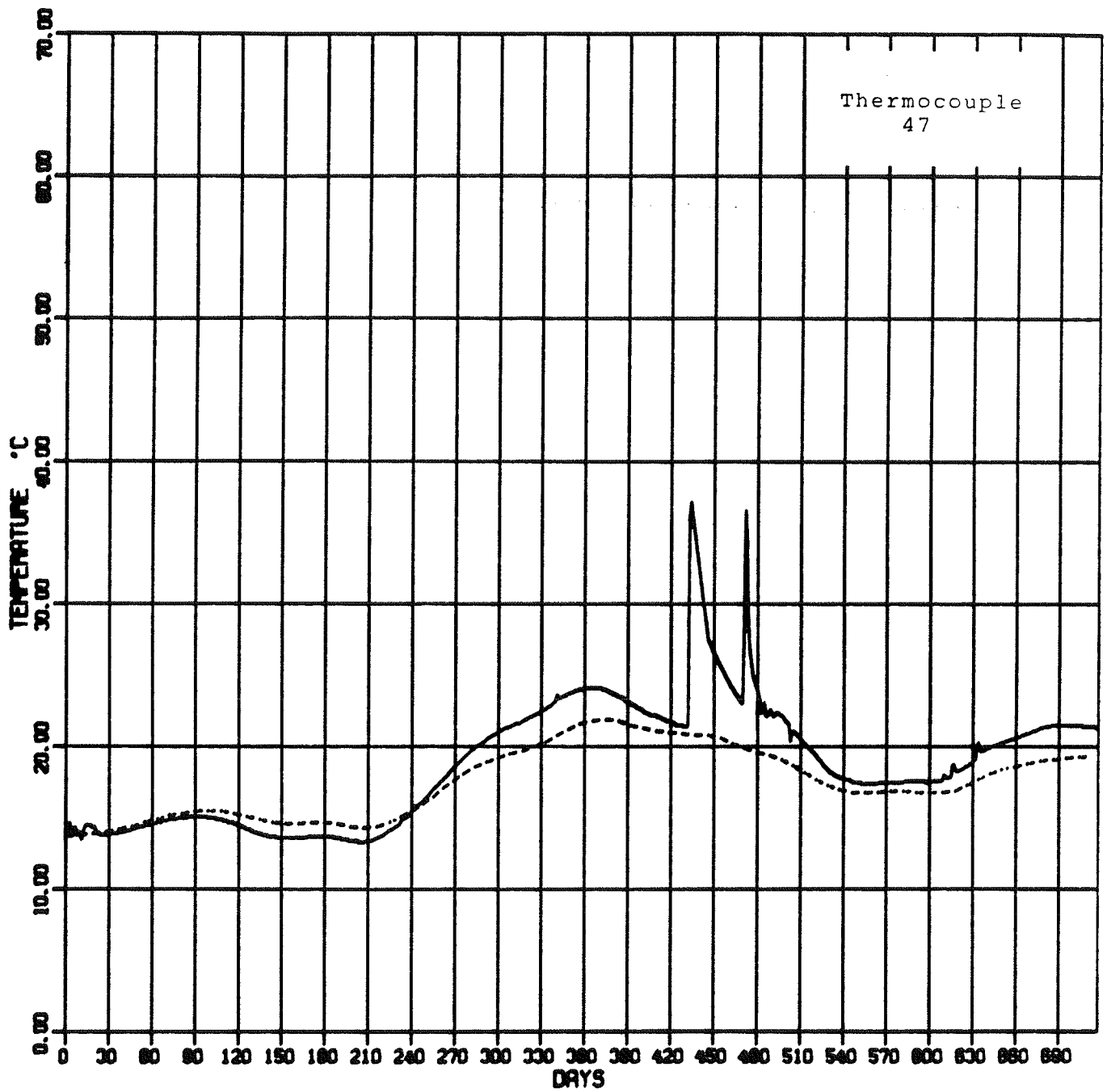
SOIL TEMPERATURE



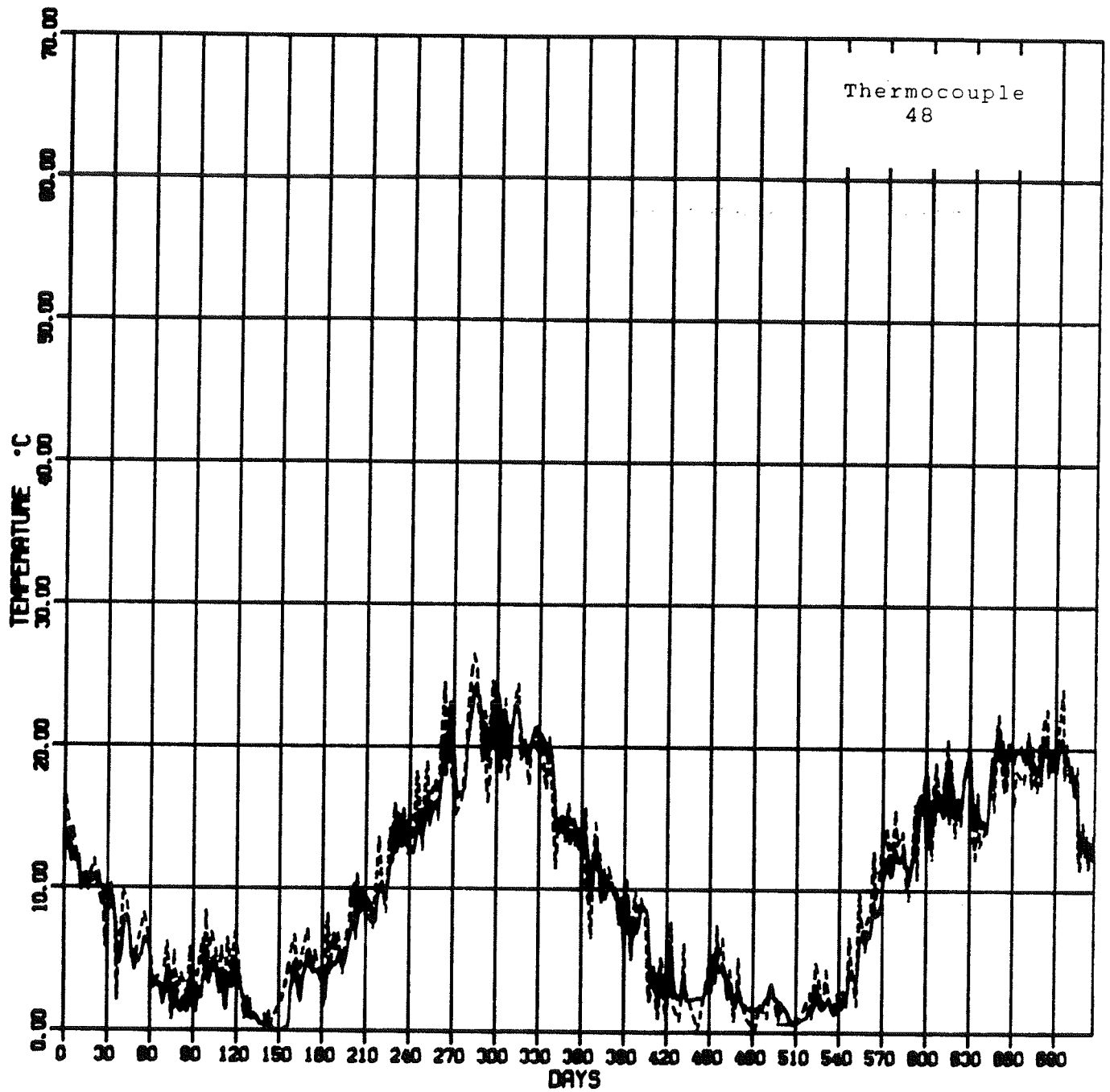
SOIL TEMPERATURE



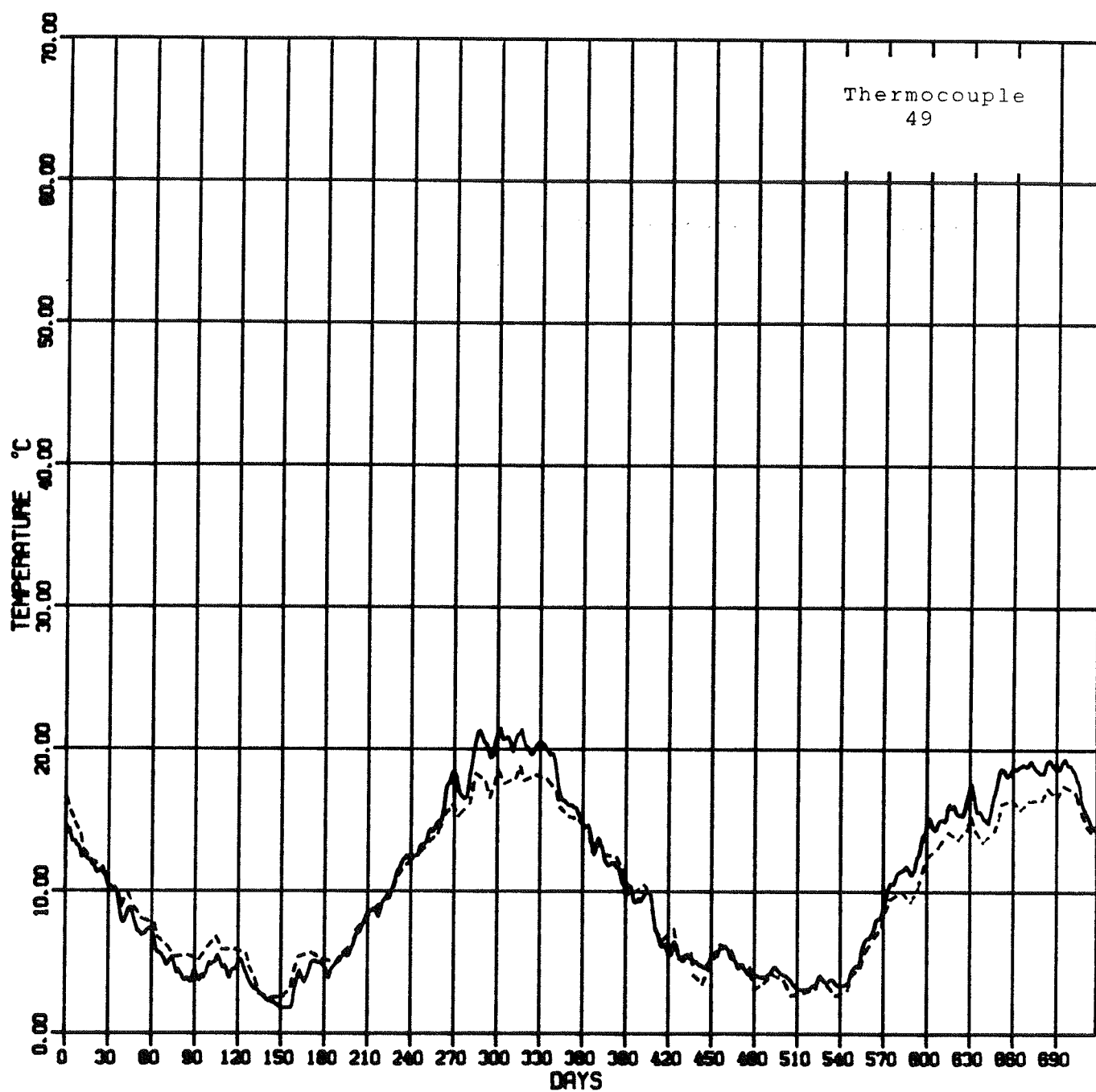
SOIL TEMPERATURE



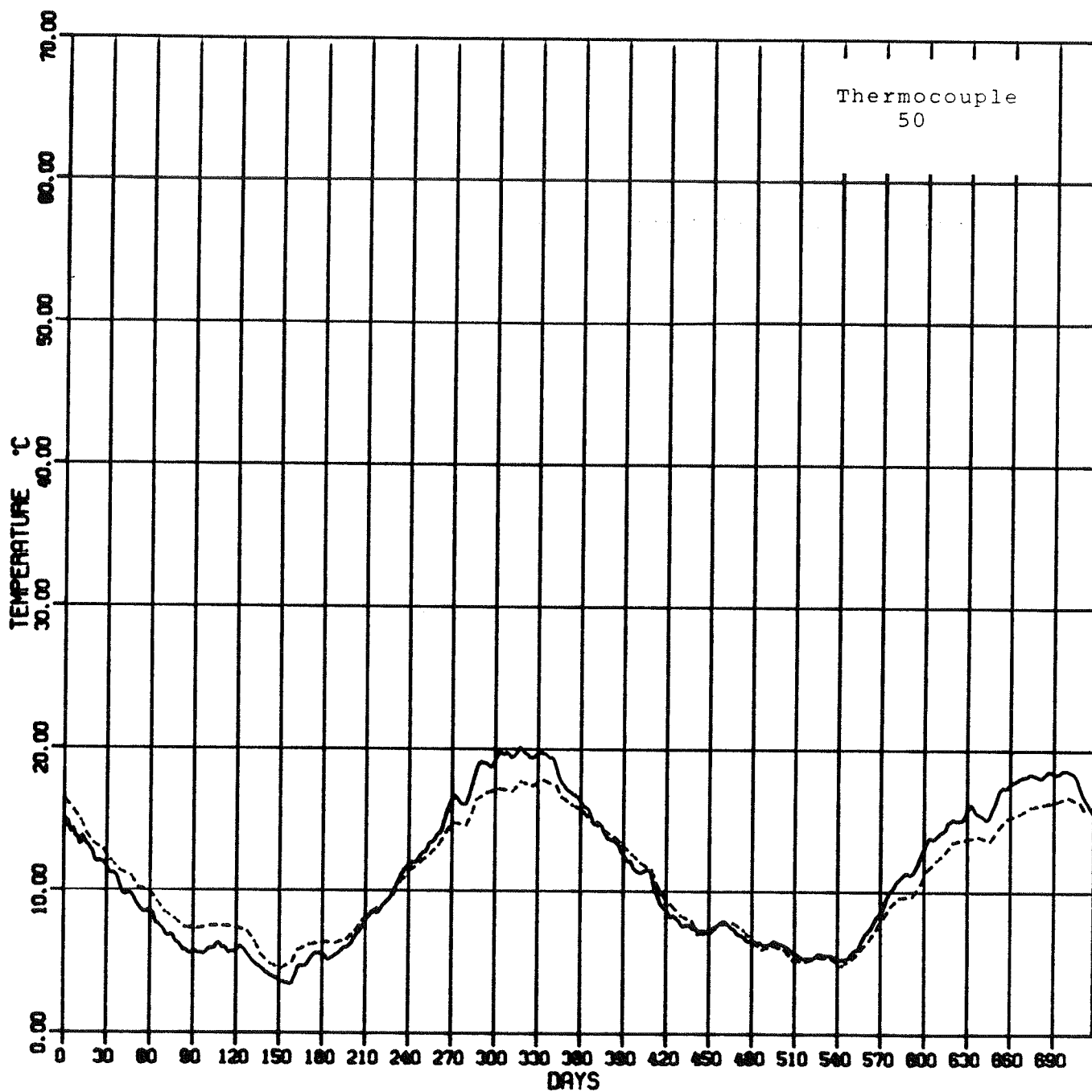
SOIL TEMPERATURE



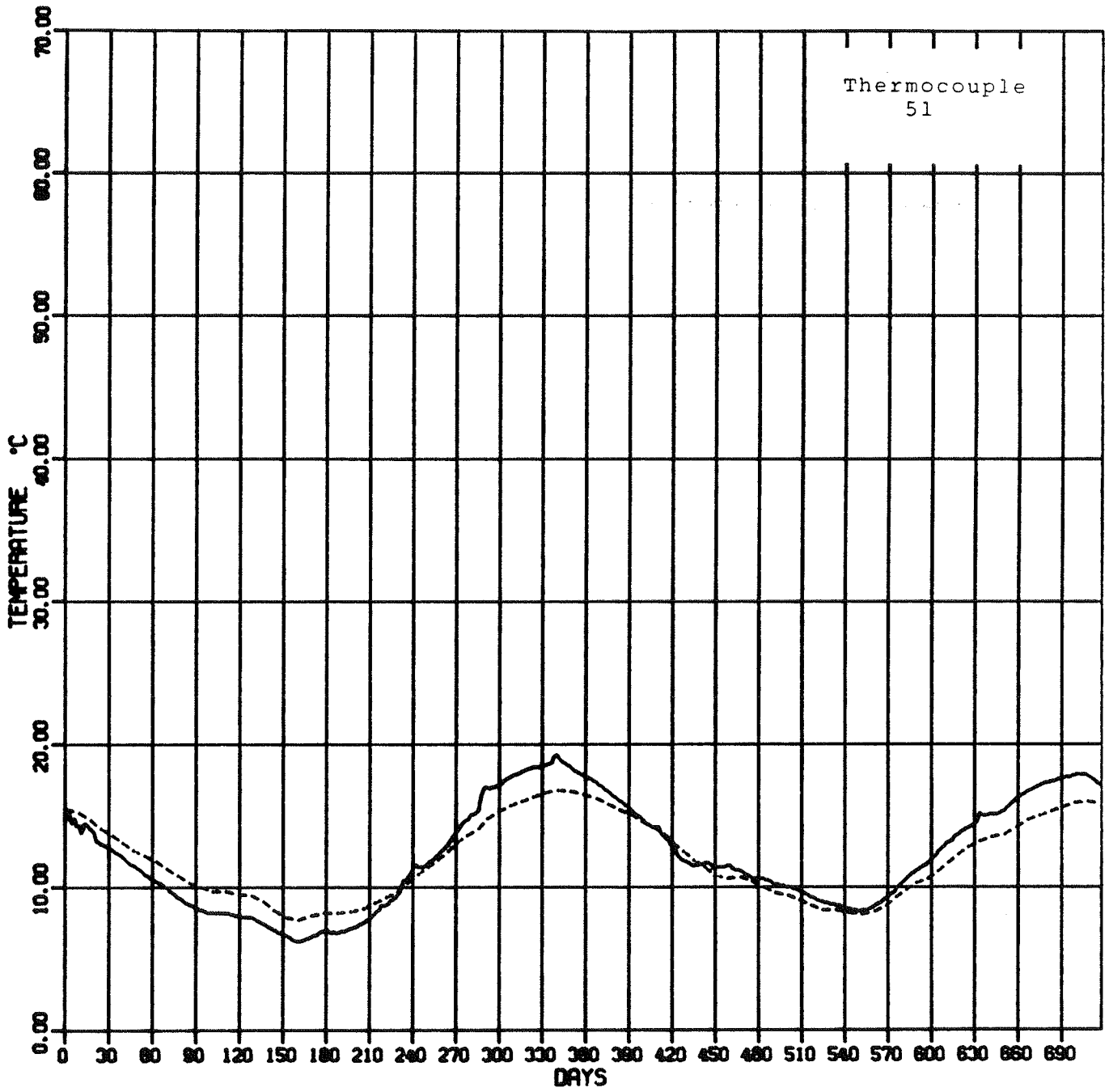
SOIL TEMPERATURE



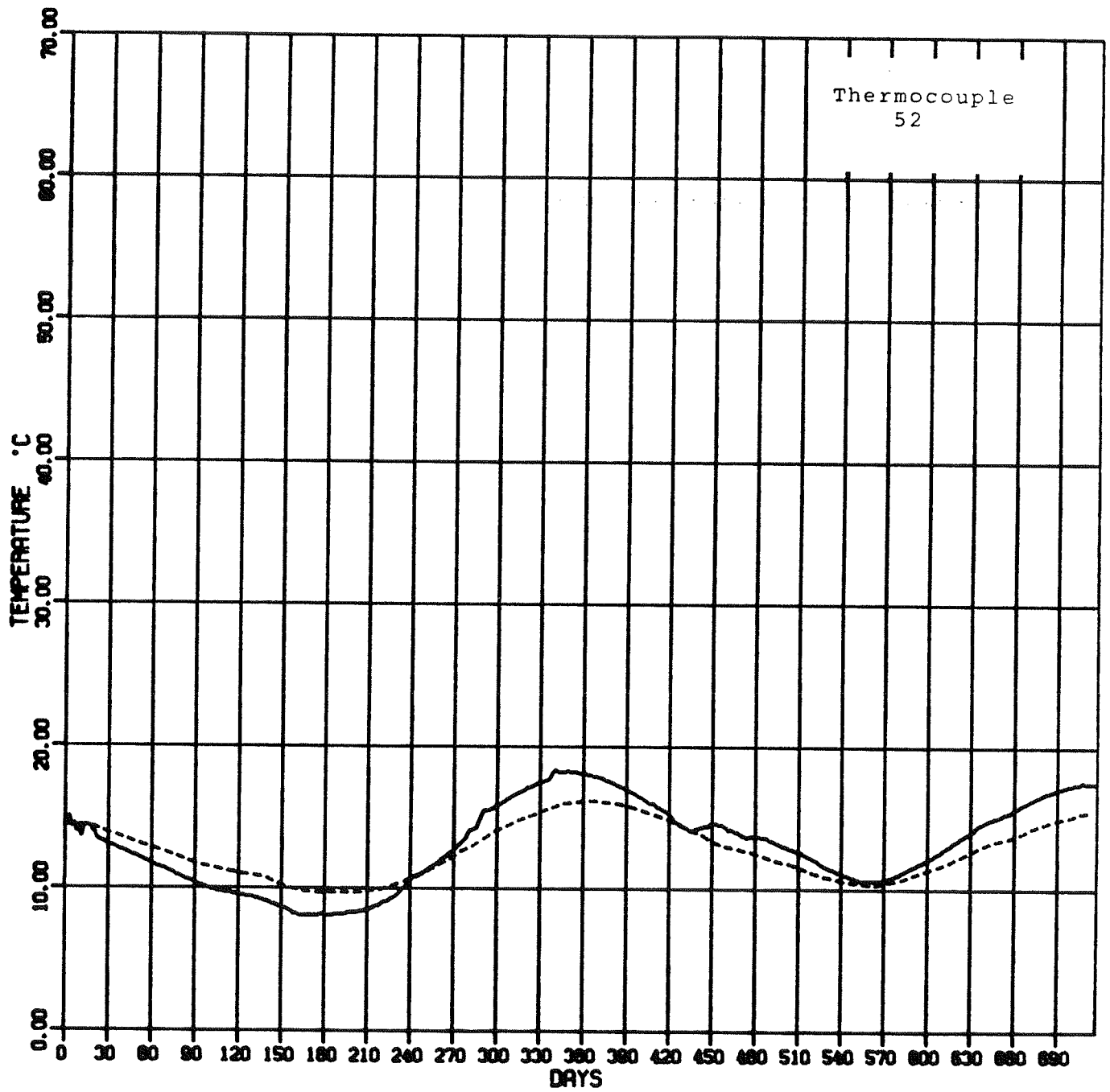
SOIL TEMPERATURE



SOIL TEMPERATURE



SOIL TEMPERATURE



TEKNOLOGISK INSTITUT

Gregersensvej, DK-2630 Tåstrup, Telefon (02) 99 66 11

Prøveattest

Bestemmelse af varmeledningstal ved hjælp af pladeapparat (DIN 52612)

Ansøger: Varmeisoleringskontrollen

Fabrikant: K. Balling Engelsen A/S, 4930 Maribo

Materiale: KBE - Tagisoleringsplade

Prøvematerialet er den 20/10-83 ~~transmissionlaboratoriel~~
udtaget af os på Deres lager , Maribo

i enheder af dimensioner: $1,20 \times 0,60 \times 0,10 \text{ m}^3$ (udskåret af plade)

Prøver efter tildannelser:

Prøver efter tildannelser:		1	2
Længde	m	0,595	0,600
Bredde	m	0,600	0,603
Tykkelse under måling	m	0,100	0,100
Densitet i tør tilstand	kg/m³	19,2	19,6
Fugtindhold under måling	vægt %	0,7	0,8
Fugtindhold under måling	vol. %	0,01	0,02

Tørretemperatur i varmeskab: 60 °C

Måleresultater:

Måling nr.	Middeloverflade- temperatur af prøver		Middel- temperatur differens K	Middel- temperatur af prøver °C	Middel- varmeled- ningstal $\frac{W}{mK}$
	Varme sider °C	Kolde sider °C			
1	18,9	- 5,6	24,5	6,7	0,0338
2	21,9	- 3,4	25,3	9,3	0,0342
3	24,7	3,1	21,6	13,9	0,0345

Resultaterne er afsat i medfølgende diagram nr. 83082

hvoraf fremgår: Basis $\lambda = 0,0340 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ ved middeltemperatur 10°C .

Bilaq̄: Diagram nr. 83082

VARME- og INSTALLATIONSTEKNIK

Dato: 1983.11.08

Nielsen
Niels Svenningsen



NOV 1983

Prøvningsrapport

Autoriseret teknisk afprøvning i henhold til Statens Tekniske prøvenævns autorisation og på foranstående vilkår.

Rapport nr. 83082

Bestemmelse af byggematerialers basisvarmeledningstal, λ_{10} W/mK i henhold til den til enhver tid gældende udgave af DIN 52612.

Materiale KBE - Tagisoleringsplade
(Ekspanderet polystyrenplast)
Fabrikant K. Balling Engelsen A/S
4930 Maribo
Rekvirent Varmeisoleringskontrollen

Resultat: Se følgende attest

Prøvningsrapport må kun gengives i uddrag, hvis rapporten er offentlig tilgængelig, eller laboratoriet har godkendt uddraget.

Varme- og Installationsteknik

Underskrift

Dato 1983.11.08

Niels Svenningsen

Postadresse
Postboks 141
DK-2630 Tåstrup

Besøgsadresse
Gregersensvej
Høje Tåstrup

Telefon
02-99 66 11
Giro 9 00 09 76

Telegram
Teknologisk
Telex 334 16 ti dk

Fabrikant: K. Balling Engelsen A/S

Varmeledningstal i $\frac{W}{mK}$

for KBE - tagisoleringsplade

Fugtindhold under måling: 0,8 vægt%

Densitet i tør tilstand: 19,4 kg/m³

$\frac{W}{mK}$

0,08

0,06

0,04

0,02

0

0

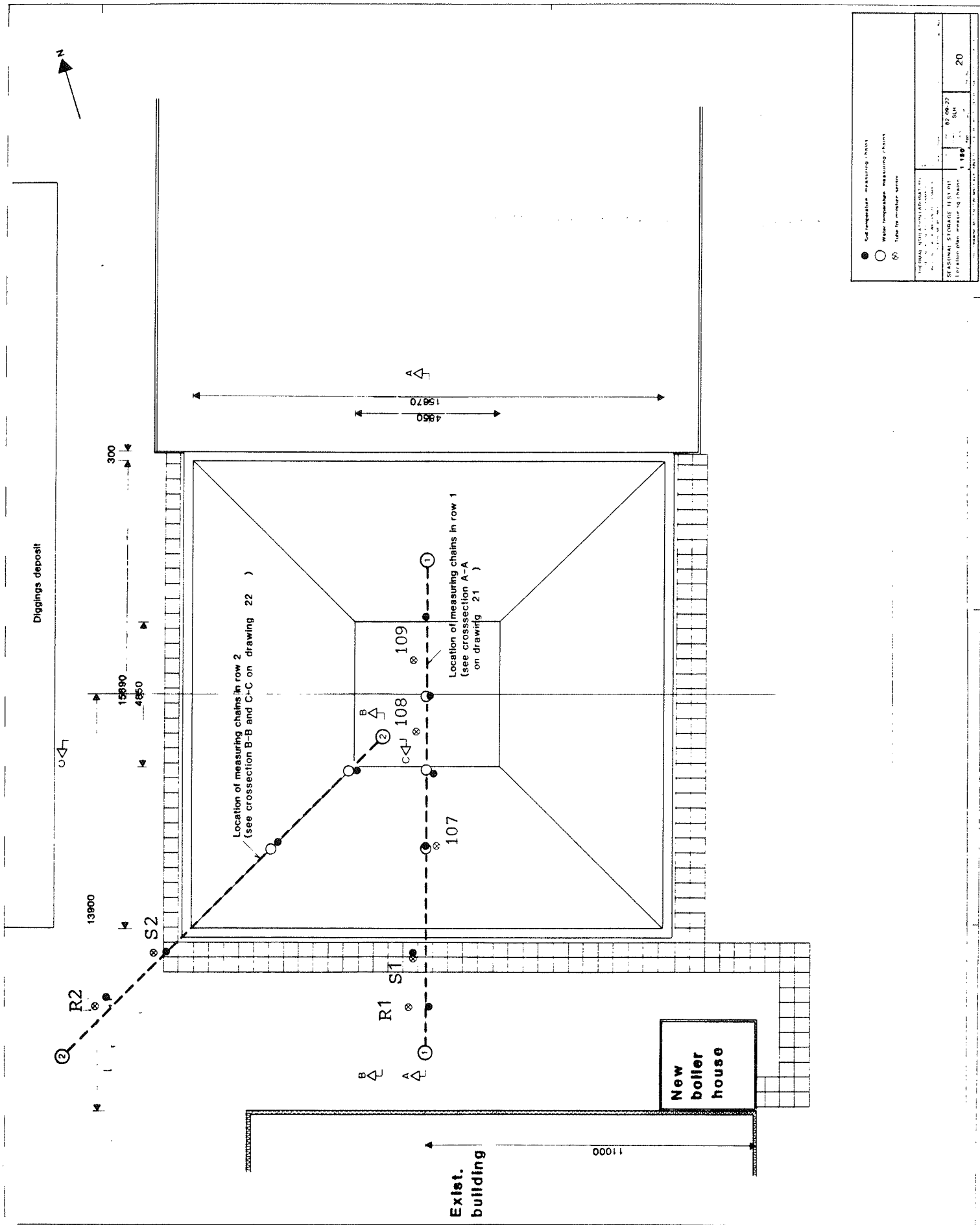
10

20

30°C

middeltemperatur





Soil temperature measuring chain		Water temperature measuring chain		Tube for multiple sensors	
1		2		3	
4		5		6	
7		8		9	
10		11		12	
13		14		15	
16		17		18	
19		20		21	
22		23		24	
25		26		27	
28		29		30	
31		32		33	
34		35		36	
37		38		39	
40		41		42	
43		44		45	
46		47		48	
49		50		51	
52		53		54	
55		56		57	
58		59		60	
61		62		63	
64		65		66	
67		68		69	
70		71		72	
73		74		75	
76		77		78	
79		80		81	
82		83		84	
85		86		87	
88		89		90	
91		92		93	
94		95		96	
97		98		99	
100		101		102	
103		104		105	
106		107		108	
109		110		111	
112		113		114	
115		116		117	
118		119		120	
121		122		123	
124		125		126	
127		128		129	
130		131		132	
133		134		135	
136		137		138	
139		140		141	
142		143		144	
145		146		147	
148		149		150	
151		152		153	
154		155		156	
157		158		159	
160		161		162	
163		164		165	
166		167		168	
169		170		171	
172		173		174	
175		176		177	
178		179		180	
181		182		183	
184		185		186	
187		188		189	
190		191		192	
193		194		195	
196		197		198	
199		200		201	
202		203		204	
205		206		207	
208		209		210	
211		212		213	
214		215		216	
217		218		219	
220		221		222	
223		224		225	
226		227		228	
229		230		231	
232		233		234	
235		236		237	
238		239		240	
241		242		243	
244		245		246	
247		248		249	
250		251		252	
253		254		255	
256		257		258	
259		260		261	
262		263		264	
265		266		267	
268		269		270	
271		272		273	
274		275		276	
277		278		279	
280		281		282	
283		284		285	
286		287		288	
289		290		291	
292		293		294	
295		296		297	
298		299		300	
301		302		303	
304		305		306	
307		308		309	
310		311		312	
313		314		315	
316		317		318	
319		320		321	
322		323		324	
325		326		327	
328		329		330	
331		332		333	
334		335		336	
337		338		339	
340		341		342	
343		344		345	
346		347		348	
349		350		351	
352		353		354	
355		356		357	
358		359		360	
361		362		363	
364		365		366	
367		368		369	
370		371		372	
373		374		375	
376		377		378	
379		380		381	
382		383		384	
385		386		387	
388		389		390	
391		392		393	
394		395		396	
397		398		399	
400		401		402	
403		404		405	
406		407		408	
409		410		411	
412		413		414	
415		416		417	
418		419		420	
421		422		423	
424		425		426	
427		428		429	
430		431		432	
433		434		435	
436		437		438	
439		440		441	
442		443		444	
445		446		447	
448		449		450	
451		452		453	
454		455		456	
457		458		459	
460		461		462	
463		464		465	
466		467		468	
469		470		471	
472		473		474	
475		476		477	
478		479		480	
481		482		483	
484		485		486	
487		488		489	
490		491		492	
493		494		495	
496		497		498	
499		500		501	
502		503		504	
505		506		507	
508		509		510	
511		512		513	
514		515		516	
517		518		519	
520		521		522	
523		524		525	
526		527		528	
529		530		531	
532		533		534	
535		536		537	
538		539		540	
541		542		543	
544		545		546	
547		548		549	
550		551		552	
553		554		555	
556		557		558	
559		560		561	
562		563		564	
565		566		567	
568		569		570	
571		572		573	
574		575		576	
577		578		579	
580		581		582	
583		584		585	
586		587		588	
589		590		591	
592		593		594	
595		596		597	
598		599		600	
601		602		603	
604		605		606	
607		608		609	
610		611		612	
613		614		615	
616		617		618	
619		620		621	
622		623		624	
625		626		627	
628		629		630	
631		632		633	
634		635		636	
637		638		639	
640		641		642	
643		644		645	
646		647		648	
649		650		651	
652		653		654	
655		656		657	
658		659		660	
661		662		663	
664		665		666	
667		668		669	
670		671		672	
673		674		675	
676		677		678	
679		680		681	
682		683		684	
685		686		687	
688		689		690	
691		692		693	
694		695		696	
697		698		699	
700		701		702	
703		704		705	
706		707		708	
709		710		711	
712		713		714	
715		716		717	
718		719		720	
721		722		723	
724		725		726	
727		728		729	
730		731		732	
733		734		735	
736		737		738	
739		740		741	
742		743		744	
745		746		747	
748		749		750	
751		752		753	
754		755		756	
757		758		759	
760		761		762	
763		764		765	
766		767		768	
769		770		771	
772		773		774	
775		776		777	
778		779		780	
781		782		783	
784		785		786	
787		788		789	
790		791		792	
793		794		795	
796		797		798	
799		800		801	
802		803		804	
805		806		807	
808		809		810	
811		812		813	
814		815		816	
817		818		819	
820		821		822	
823		824		825	
826		827		828	
829		830		831	
832		833		834	
835		836		837	
838		839		840	
841		842		843	
844		845		846	
847		848		849	
850		851		852	
853		854		855	
856		857		858	
859		860		861	
862		863		864	
865		866		867	
868		869		870	
871		872		873	
874		875		876	
877		878		879	
880		881		882	
883		884		885	
886		887		888	
889		890		891	
892		893		894	
895		896		897	
898		899		900	
901		902		903	
904		905		906	
907		908		909	
910		911		912	
913		914		915	
916		917		918	
919		920		921	
922		923		924	
925		926		927	
928		929		930	
931		932		933	
934		935		936	
937		938		939	
940		941		942	
943		944		945	
946		947		948	
949		950		951	
952		953		954	
955		956		957	
958		959		960	
961		962		963	
964		965		966	
967		968		969	
970		971		972	
973		974		975	
976		977		978	
979		980		981	
982		983		984	
985		986		987	
988		989		990	
991		992		993	
994		995		996	
997		998		999	
1000		1001		1002	
1003		1004		1005	
1006		1007		1008	
1					

APPENDIX 4

Måleresultater fra jordfugtighedsmålinger ved varmelager.

GEOLOGISKE FORKORTELSER

Aflejring

Ferskvand
Flydejord
Gletscher
Marin
Nedskyl
Overjord
SkredjordF
FI
GI
M
N
O
SkSmeltevand
Udskyl
VindSm
U
V

Alder

Postglacial
Senglacial
Glacial
Interglacial
Tertiær
Danien
Senon (Kridt)P
S
G
I
T
Da
Se

Boringsresultater

Kote

Lab
nr

Jordart

Karakterisering

Aflejring

Alder

Boring nr. 107 (T-1,A)
Fugtmålerør

Kote	Lab nr	Jordart	Karakterisering	Aflejring	Alder
+345					
+34	40	MORÆNELER	sandet, stenet	Gl	G
	41	"	" "	"	"
	42	"	" "	"	"
+33	43	SAND	ret fint->mellemkornet, vels.	Sm	"
	44	"	, mellemkornet->ret groft, vels.	"	"
+32	45	"	, mellemkornet, velsorteret	"	"
	46	"	, ret groft, let gruset, ret sort.	"	"
+31	47	"	, mellemkornet, velsorteret	"	"
	48	"	" , let gruset	"	"
+30					

BØRGEN TØR UNDER BOREARBEJDET

w	%
10	20
100	200
18	20

w

%

c_v, c_vkN/m²

Y

kN/m³Geoteknisk Institut
København 02-88 44 44 Århus 06-27 31 11

BOREPROFIL

Sag: K82264 Lyngby-Tårnbæk

Bor. udf.: 82-07-22

Tegn.: JGD

Kontr.: S&M

Boring nr.: 107

at: DGI/JGD

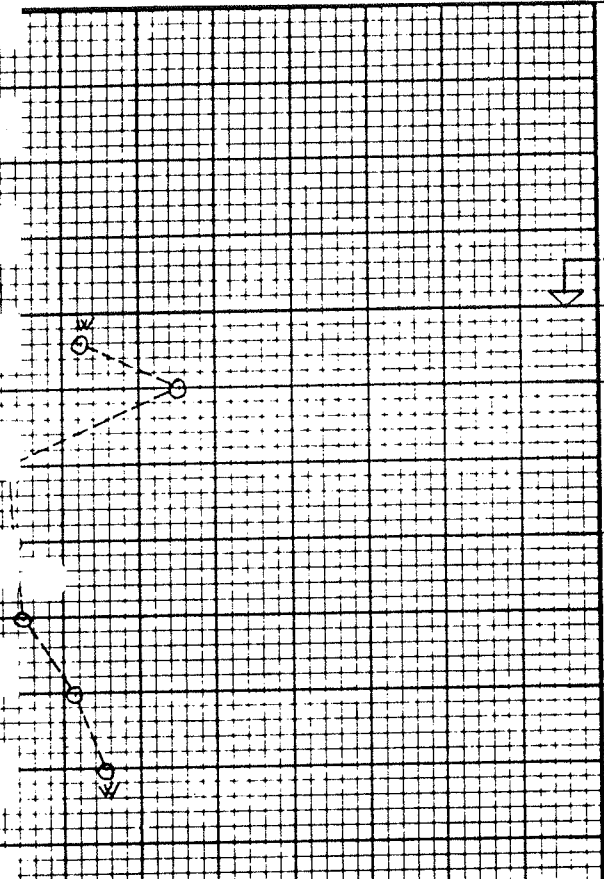
Godk.: JBL

82-10-15

Bilag nr.: 9

EOLOGISKE FORKORTELSER

Aflejning	Ferskvand	F	Sneetvand	Sm	Alder	Postglacia
	Flydejord	Fi	Udskyl	U		Senglacia
	Gletscher	Gl	Vind	V		Glacial
	Marin	M				Interglacial
	Nedskyl	N				Tertiær
	Overjord	O				Danien
	Skredjord	Sk				Senon(Kridt)

Ergebnisse	Kote	Lab nr	Jordart	Karakterisering	Aflejring	Alder
Boring nr. 108 (U-V,1) Fugtmålerør						
	+32.5					
	+32	57	SAND,ret fint->mellemkornet,vels.	Sm	G	
		58	" ,ret fint,velsorteret	"	"	
		59	" ,mellemkornet,velsorteret	"	"	
	+31	60	" ,ret groft,velsorteret	"	"	
		61	" ,mellemkornet,velsorteret	"	"	
	+30	62	" ,ret fint->mellemkornet,vels.	"	"	
		63	" ,ret fint- mellemkornet,let gruset	"	"	
BORINGEN TOR UNDER BOREARBEJDET						

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

GEOLOGISKE FORKORTELSER

Aflerjing

Ferskvand

F

Smeltevand

Sm

Alder

Postglacial

P

Flydejord

Fl

Udskyl

U

Senglacial

S

Gletscher

Gl

Vind

V

Glacial

G

Marin

M

Interglacial

I

Nedskyl

N

Tertiær

T

Overjord

O

Danien

Da

Skredjord

Sk

Senon (Kridt)

Se

gsresultater

Kote

~~dybde~~

Lab

nr

Jordart

Karakterisering

Aflerjing

Alder

Boring nr. 109 (V-X, 1)
Fugtmålerør

+32.5

+32

+31

+30

+29

64

MORENELER, sandet, stenet

Gl

G

65

SAND, ret fint, velsorteret

Sm

"

66

" " " "

"

"

67

" " " "

"

"

68

" " " "

"

"

69

" " " , let gruset, velsorteret

"

"

70

" " " " " "

"

"

BORINGEN TØR UNDER FORBEREJDET

10

20

30

100

200

300

18

20

22

w

%

c_v, c_vkN/m²

γ

kN/m³

Geoteknisk Institut

København 02-88 44 44

Århus 06-27 31 11

BOREPROFIL

Sag K82264 Lyngby-Tårnbæk

Bor. udf 82-07-23

Tegn.: JGD

Kontr.: SGM

Boring nr.: 109

af: DGI/JGD

Godk.: JGD

82-10-15

Bilag nr.: 11

Måling af jordvand den 9/8 1982 foretaget af
K.J. Kristensen, HYDROTEKNISK LABORATORIUM.

volumen % vand

DGI-profil nr.	Dybde	Neutronudstyr		DGI-prøver *)
107	20	17,9	18,1	16,5
	50	21,2	21,8	20,3
	100	21,8	22,1	18,0
	150	10,9	11,1	11,3
	200	2,4	2,3	3,0
	250	4,7	4,5	6,8
	200	4,0	4,3	3,8
	350	3,8	3,7	3,8
108	20	8,6	9,1	9,8
	50	21,1	20,1	18,8
	100	9,1	10,0	1,0
	150	2,3	2,2	1,5
	200	5,5	5,5	2,3
	250	9,7	10,4	8,3
	300	11,1	11,5	11,3
109	20	11,1	10,7	14,3
	50	10,2	10,5	12,8
	100	11,4	12,0	12,8
	150	6,8	6,3	6,8
	200	9,3	9,5	20,3
	250	13,8	13,7	12,8
	300	12,2	11,5	9,0

*) Vægt% $\cdot \rho_{\text{tør}}$ ($\rho_{\text{tør}} = 1,5$)

HYDROTEKNISK LABORATORIUM
DEN KGL. VETERINÆR- OG LANDBOHØJSKOLE

AGROVEJ 10 . 2630 TAASTRUP

TLF. (02) 99 26 13

Dato: 17. august 1983

Ref.: KJK/jq

Hr. Kurt Kielsgaard Hansen,
Laboratoriet for Varmisolering,
D.T.H. Bygning 118,
2800 Lyngby.

Vedrørende jordfugtighedsmåtning ved varmelager.

/. Vedlagt sendes en oversigt over de målte vandindhold i jorden. Jeg tror, tabellerne kan forklare sig selv. Som det fremgår, er der ikke større ændring gennem måleperioden bortset fra de øverste måledybder (25 og 50 cm under terræn). Her er ændringerne overvejende bestemt af, hvor lang tid efter nedbør, målingerne er foretaget. Der er ikke, efter min vurdering baggrund for at antage termisk varmetransport i jorden i de afstande fra varmelageret, hvor målingerne har fundet sted. De fundne tidsmæssige ændringer i givne dybder kan forklares med metodens naturlige måleusikkerhed og eventuelt gennemslivende nedbør.

De viste resultater kan være for påvirkede af, at der er foretaget jordarbejder m.v. på arealet i måleperioden, og, som nævnt, af mulighed for tilgang af vand fra nedbøren. For med større sikkerhed at bestemme en eventuel termisk betinget vanddamptransport, bør et rimeligt stort areal omkring målestederne belægges med vandtæt materiale, således at tilgang fra nedbør o.a. og fordampning til atmosfæren hindres.

Jeg er af den opfattelse, at fortsat måling under nuværende forhold ikke giver yderligere information. Jeg foreslår, du tager kontakt med mig, når du har set på materialet, med henblik på at aftale om målingerne skal fortsættes.

Med venlig hilsen

K.J. Kristensen



Vandindhold (vol. %) i dybde (cm) u. terræn.

1)

Rør nr.	Målt A M D	Nedbør mm	25	50	100	150	200	250	300	350	378
R 1	8 16	-	-	-	22.7	22.5	24.1	19.9	19.2	15.3	3.0
	10 7	74	21.7	20.5	24.7	22.4	24.6	19.1	19.1	15.5	3.0
	13	14	25.9	20.9	25.9	22.9	25.4	19.9	19.6	15.9	2.8
	20	38	26.8	21.6	25.3	22.8	25.3	20.3	21.5	18.2	4.9
	26	15	25.9	21.0	25.5	23.0	24.7	20.3	21.2	18.1	4.8
	11 2	2	26.5	21.4	25.8	22.6	24.9	20.2	19.9	16.4	4.5
	9	0	25.0	21.0	24.9	23.2	24.9	20.0	19.9	16.3	3.8
	16	7	24.6	20.5	25.0	23.1	25.0	19.5	19.4	16.0	4.0
	23	25	26.1	21.3	25.3	23.0	25.2	20.3	20.7	16.8	4.2
	1 3	70	26.1	20.4	24.7	23.3	24.3	19.4	19.7	16.1	4.3
R 2	28	41	25.6	21.0	24.8	23.1	24.8	19.8	19.2	15.9	3.4
	2 23	21	21.7	20.9	24.4	22.8	24.7	19.3	19.5	15.9	3.6
	3 24	75	27.2	20.6	24.9	22.5	24.6	19.6	19.8	17.5	4.7
	4 26	87	24.0	21.9	25.1	22.7	25.2	19.7	19.4	15.2	3.7
	5 24	83	25.3	21.4	24.7	23.7	25.6	19.9	19.7	15.9	4.2
	6 22	69	22.2	21.8	24.6	23.3	25.5	20.0	19.8	14.5	3.3
	7 13	22	22.3	21.3	24.7	23.3	25.3	19.0	19.0	14.4	2.6
	8 12	4	19.6	20.6	24.3	23.1	25.3	18.8	19.1	14.4	2.2

1) Målt på Højbakkegård, Tåstrup.

Rør nr.	Målt Å M D		1) Nedbør mm	Vandindhold (vol%) i dybde (cm) u. terræn.								
	25	50		100	150	200	250	300	350	371		
R 2	8 16		-	24.1	24.6	22.0	26.6	28.2	24.4	24.2	22.9	23.9
	10 7		74	22.0	24.9	22.7	25.6	27.2	23.2	21.9	21.9	22.5
	13 13		14	26.4	25.4	23.0	26.3	27.6	23.6	22.7	22.2	23.2
	20 20		38	26.4	25.8	23.4	26.6	27.0	23.3	22.6	22.7	23.0
	26 26		15	26.9	26.4	23.3	26.2	27.2	23.5	22.0	22.4	23.3
	11 2		2	26.3	26.0	23.1	25.9	27.2	23.4	22.9	22.1	23.0
	9 9		0	26.3	26.3	22.6	26.2	27.1	23.4	22.3	22.1	23.0
	16 16		7	26.3	25.3	23.2	25.8	26.9	23.0	22.5	21.6	22.9
	23 23		25	27.3	26.3	22.6	26.1	26.6	23.2	22.9	22.1	23.3
	1 3		70	28.6	25.4	22.1	25.6	26.6	22.8	22.1	21.8	22.8
	28 28		41	28.7	25.5	22.9	25.7	26.6	22.9	21.8	21.6	22.7
	2 23		21	28.5	25.5	22.0	26.0	26.3	22.5	21.7	21.3	22.8
	3 24		75	29.2	25.5	22.8	25.5	26.7	22.7	22.2	21.4	22.6
	4 26		87	28.2	26.5	22.2	26.0	25.9	22.6	21.8	21.4	22.7
	5 24		83	28.5	26.1	22.8	26.7	27.2	23.6	23.3	23.1	23.4
	6 22		69	27.0	27.0	22.5	25.7	26.2	22.6	22.2	22.2	22.8
	7 13		22	25.2	26.5	21.9	25.9	26.5	22.3	22.6	22.2	23.0
	8 12		4	22.0	26.3	21.2	25.5	26.5	22.3	21.8	21.7	22.1

1) Målt på Højbakkegård, Tåstrup.

Rør nr.	Målt A M D	Nedbør mm	Vandindhold (vol %) i dybde (cm) u. terræn.							
			25	50	100	150	200	250	300	323
S 1	8 16	-	-	-	22.7	22.1	27.7	26.7	21.7	17.8
	10 7	74	4.5	10.0	25.4	22.5	26.3	26.8	21.7	17.7
	13	14	9.0	24.7	26.1	23.2	27.3	27.3	22.4	18.2
	20	38	7.7	26.3	25.3	22.7	26.8	26.7	22.2	17.8
	26	15	8.1	26.8	25.4	22.4	26.9	26.5	22.3	18.2
	11 2	2	7.0	19.2	26.0	23.0	27.4	27.0	22.5	18.2
	9	0	6.0	14.8	25.7	22.7	27.0	26.8	22.5	18.3
	16	7	7.1	15.5	25.5	23.3	26.6	27.0	22.5	17.8
	23	25	9.5	28.7	25.9	23.1	27.5	26.4	22.3	18.2
	1 3	70	29.5	25.3	25.3	22.6	26.7	26.7	21.7	17.6
S 861	28	41	28.0	25.4	25.4	22.8	26.8	26.7	22.0	18.0
	2 23	21	27.7	25.1	26.0	23.0	27.2	26.6	21.8	17.7
	3 24	75	28.6	24.9	26.2	22.9	26.8	26.8	21.6	17.5
	4 26	87	27.4	25.9	25.7	22.7	27.1	26.2	22.2	17.6
	5 24	83	28.4	24.9	25.9	23.2	27.7	27.2	21.9	17.5
	6 22	69	29.2	26.1	25.7	23.2	27.1	27.0	21.7	17.4
	7 13	22	28.8	25.6	25.2	23.5	27.2	26.4	21.4	17.6
	8 12	4	28.5	25.7	25.3	22.9	27.6	26.1	21.7	17.6

1) Målt på Højbakkegård, Tåstrup

Vandindhold (vol.%) i dybde (cm) u. terræn.

1)

Rør nr.	Målt		Nedbør mm							
	A	M D		25	50	100	150	200	250	300
S 2	8	16	-	-	-	18.7	26.4	29.2	22.0	22.9
	10	7	74	12.5	23.6	18.2	26.2	26.1	20.1	21.7
		13	14	23.5	25.5	19.3	26.9	26.9	20.3	21.7
	20		38	28.5	29.0	19.2	26.4	26.5	20.3	22.1
	26		15	28.6	28.9	19.4	27.0	26.9	20.4	22.6
	11	2	2	23.5	28.8	19.4	26.2	26.4	20.2	21.8
		9	0	19.4	28.1	19.3	26.4	26.5	20.5	22.1
	16		7	22.6	28.1	19.6	26.2	26.5	20.2	21.9
	23		25	27.4	28.5	19.1	28.0	27.0	20.6	22.3
	1	3	70	30.8	28.7	18.9	26.4	26.5	20.2	21.6
S 3	28		41	31.3	28.8	19.0	25.7	26.1	20.1	21.3
	2	23	21	28.3	28.9	19.0	26.5	25.9	19.7	21.1
	3	24	75	30.3	28.8	19.4	25.9	26.6	20.1	21.3
	4	26	87	29.7	30.0	19.0	26.1	26.2	19.8	21.3
	5	24	83	30.4	29.6	19.5	26.3	26.0	20.7	22.9
	6	22	69	28.3	29.8	19.5	26.6	26.1	20.1	21.7
	7	13	22	27.6	29.7	19.3	26.5	25.9	20.3	21.3
	8	12	4	26.3	29.2	19.4	26.8	26.0	20.0	21.3

1) Målt på Højbakkegård, Tåstrup.