Studies in Solar Energy

Sørensen, Bent

Publication date:
1988

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Citation for published version (APA):
Sørensen, B. (1988). *Studies in Solar Energy*. Roskilde Universitet. http://milne.ruc.dk/ImfufaTekster/

TEKST NR 159 1988

STUDIES IN SOLAR ENERGY

BENT SØRENSEN

TEKSTER fra

IMFUFA ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER, P O Box 260, DK-4000 Roskilde, Denmark, Tel: 02757711
Institute of Studies in Mathematics and Physics, and their Functions in Education, Research and Applications
5. March 1988

STUDIES IN SOLAR ENERGY

by Bent Sørensen

IMFUFA Text No. 159 17 pages ISSN 0106-6242

Abstrakt

Et tolv kvadratmeter stort drivhus blev i sommeren 1986 forsynet med 4 sortmalede olietønder fyldt med vand - ialt ca. 800 liter vand. Drivhustemperaturer blev målt i godt et år. Tønderne fungerer dels som solfangere, og dels som varmelager. Ideen er at forlænge vækstsæsonen og at reducere sandsynligheden for ekstremt høje eller ekstremt lave temperaturer. Jordtemperaturen, som er af stor betydning for planternes vækst, viste sig at stige med omkring 5 grader, samtidig med at temperaturvariationerne i drivhusjorden mindskedes. Drivhusluftens temperatur udviste lignende ændringer, omend mindre udpræget som følge af luftens kortere karakteristiske tidskonstant. Perioden uden frost i drivhusjorden blev forlænget med ca. en måned både i forår og efterår. Trods den strenge vinter 1986/87 blev det ikke nødvendigt at tømme tønderne for vand, idet lageret fungerede som et faseovergangs-lager med både fast og flydende form tilstede gennem hele vinteren.

Forsøget beskrives i en udførlig artikel på engelsk, efterfulgt af en mere kortfattet opsumling pä dansk.

STUDIES IN SOLAR ENERGY

BENT SØRENSEN

Experiments with Energy Storage in a High-Latitude Greenhouse

med dansk sammenfatning:

Energilagring i drivhus

EXPERIMENTS WITH ENERGY STORAGE IN A HIGH-LATITUDE GREENHOUSE

BENT SØRENSEN
Institute of Mathematics and Physics, Roskilde University
P O Box 260, 4000 Roskilde, Denmark

Abstract--A 12m^2 greenhouse located at 56^{o}N latitude was furnished with a 0.8m^3 water store and solar absorber in the form of four black-painted oil drums. Temperatures were monitored for a little over a year. The system's ability to prolong the growing season and reduce extreme temperature excursions is discussed, as well as the behavior during periods of severe frost. It was found that greenhouse soil temperatures were lifted by about 5^{o}C and their diurnal variations damped, while greenhouse air temperatures were less affected. Winter frost in the soil was delayed considerably, and once at 0^{o}C, the water store behaved as a phase change storage system for a period of several months.

1. INTRODUCTION

Due to its coastal climate tempered by the Gulf Stream, Danish temperatures are higher than the average for its latitude (about 56^{o}N). Monthly normal averages range from a low of 0^{o}C to a high of 16^{o}C, but variations between years are substantial. In particular, extended periods of severe frost are experienced during some Winters. Insolation is very low in Winter (about 10 W/m^2 average on a horizontal plane and some 50-80 W/m^2 on a vertical plane(1)). A risk of frost during nights persists from October to May. Many years have too short a growing season in the open, for crops such as tomato and cucumber, and such crops are usually grown in greenhouses with or without heating. Other crops such as melon will ripe in unheated greenhouses only in warm years. Minimum acceptable root temperatures are about 16°C for tomato and about 22°C for melon.

This indicates a need for an inexpensive alternative to direct heating of greenhouses, in order to obtain even a modest increase in the length of the growing season for a number of common greenhouse crops. In particular, a guarantee against night frost would allow a much earlier start in the Spring, where warm periods are currently left unused because of the risk of later frost. The idea of making use of oil drums for water storage as well as for solar absorption has been tested in more sunny locations of continental climate, where considerable amounts of insolation could be counted on during cold Winter days(2). The experiment reported here covers two Danish growing seasons, separated by one of the coldest Winters experienced in a 30 year period.

2. EXPERIMENTAL SETUP

Four 200 litres water-filled drums (total $0.8m^3$) were placed along the North wall of the $12m^2$ (volume about $18m^3$) greenhouse, as shown in Figs. 1 and 2. They were painted with ordinary mat blackboard paint. A few litres of an anti-freeze agent were added to each drum, in order to prevent the formation of ice shells on top of the water during rapid temperature drops. Full frost protection would have defeated the aim for a low cost system.

Within the greenhouse, computer-logged thermoelements were placed in the plants' root zone (0.05m into soil) and in air (0.50m above soil). The temperatures in the drums, 0.10m above bottom and 0.10m below water level, were read at intervals, along with the period's minimum and maximum ambient air temperature outside the greenhouse (2m above ground on a North-facing shed shielded from direct sunlight).

Calibration of the thermoelements was made in the laboratory and on site, prior to and a few times during the course of the experiment (because thermocouples with different sensitivity regions had to be used during the warmer and colder periods).

FIGURE 1. Water drums installed on June 18, 1986.

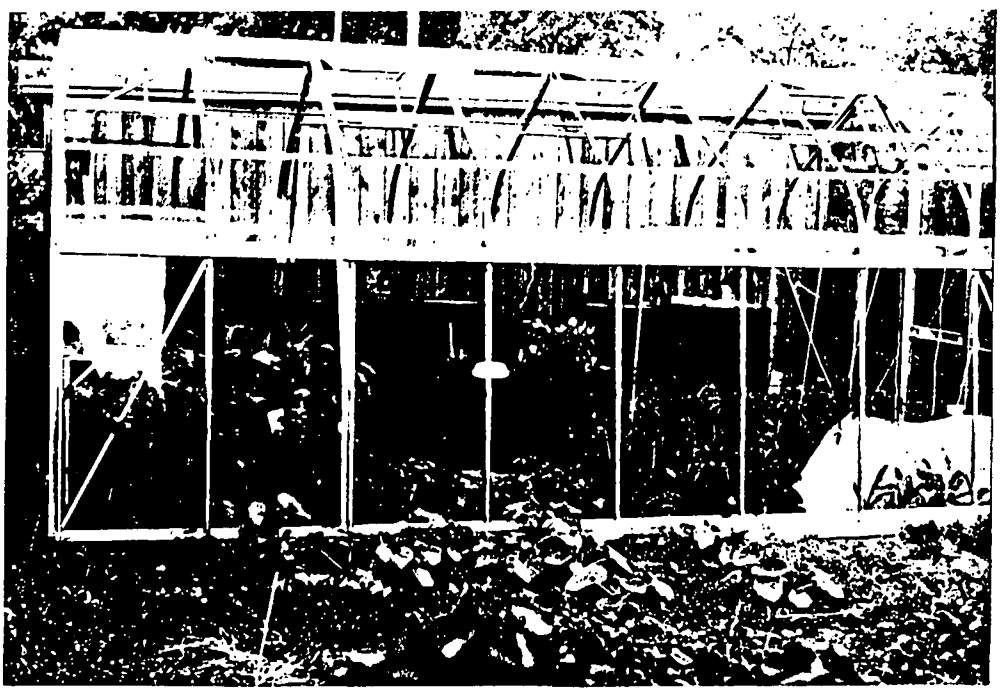


FIGURE 2. Growing crops, July 1986.

An automatic watering and fertilizing system was installed in the greenhouse, as well as a four-window automatic ventilation system. The number of opening windows recommended by the manufacturer was eight, but it was hoped that the presence of the water store would help in preventing high- temperature damage to plants during particularly warm and sunny periods.

3. RESULTS OF TEMPERATURE MEASUREMENTS

In Fig. 3, the greenhouse soil and air temperatures before and after insertion of the water drums are depicted. After June 18, 1986, when the storage components had been added, the top water temperature in the drums is also shown (the filling temperature was 10°C). The oscillations in soil temperature are seen to become considerably damped by the presence of the heat store. The temperature in the top of the water store soon becomes several degrees higher than the maximum greenhouse air temperature. For this reason, no discernable damping of maximum temperatures is seen.

In the lower part of Fig. 4, both top and bottom temperatures in the water drums are shown, along with ambient maximum and minimum temperatures. It is now July 1986, and the greenhouse soil temperature varies between 14 and 18°C, while the outside temperature is between 10 and 20°C. There is considerable stratification in the drums: the bottom temperature is 4-8°C below the top temperature. However, both are above 20°C for the entire period considered.

In the beginning of November 1986, the ambient night temperature for the first time during the monitored period goes below the freezing point and reaches -5°C (Fig. 5). However, the store is capable of keeping the inside air in the greenhouse above 2°C. This process (on the night of November 3.) cools both the top and the bottom temperature in the water drums by 3°C.

The greenhouse air temperature does not drop to below 0°C until December 21. (Fig. 6), at a minimum outside temperature of -10°C. The last greenhouse crop (tomatoes) had then just been harvested. On the following day, also the water store temperature drops to slightly below 0°C (possible by supercooling, and in lower portions of the drums due to increased pressure). From this day and until March 10., 1987, the

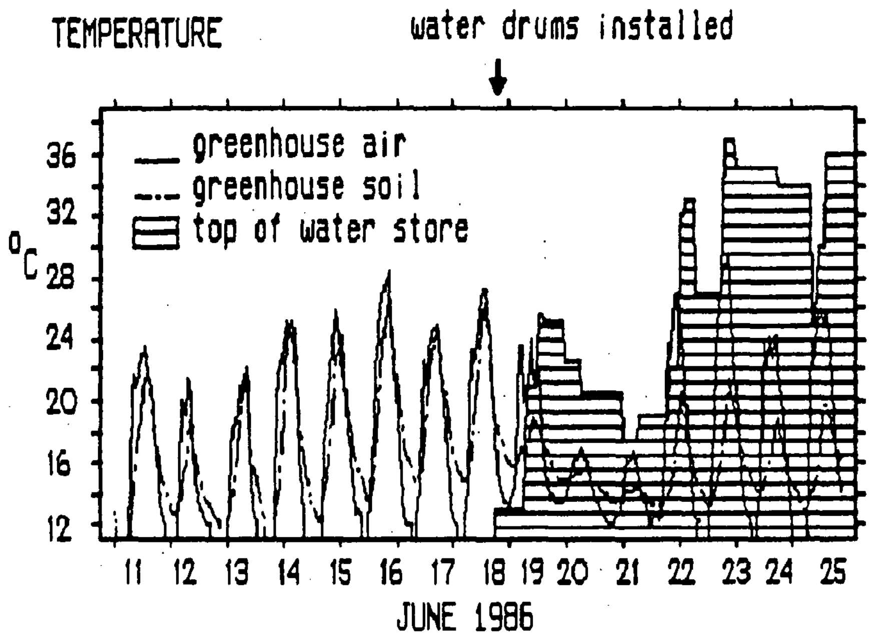


FIGURE 3

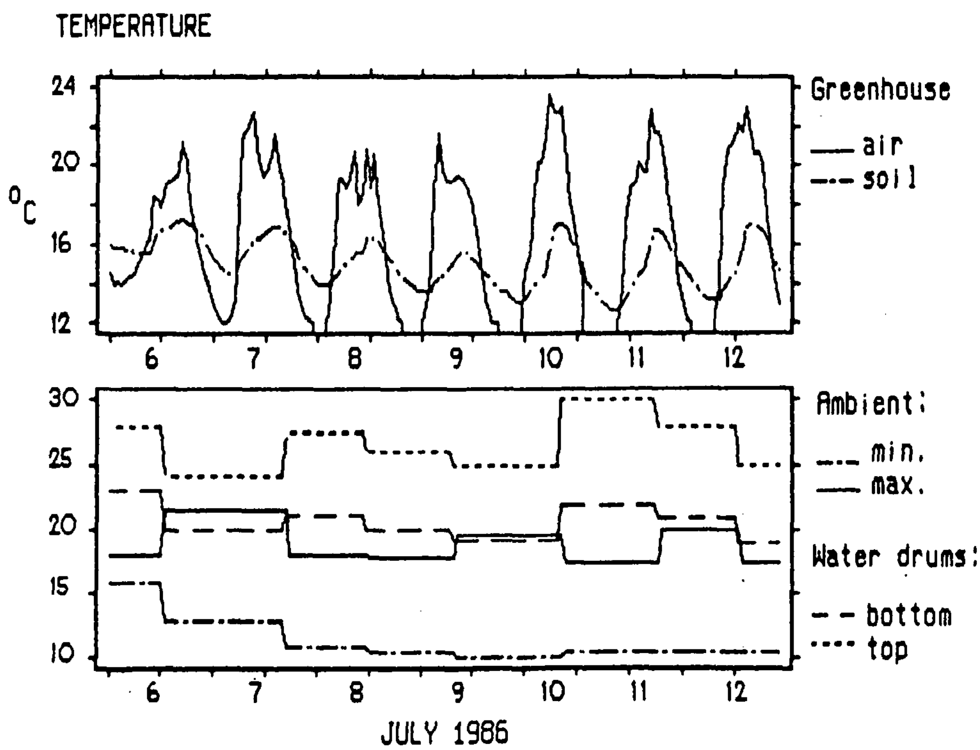


FIGURE 4

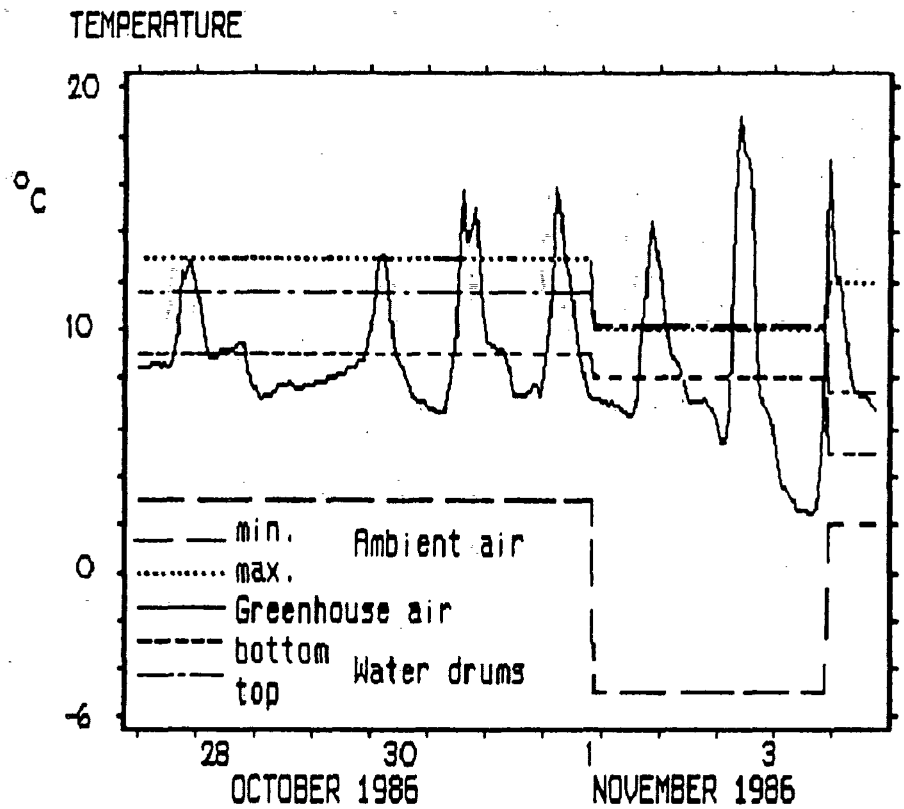


FIGURE 5

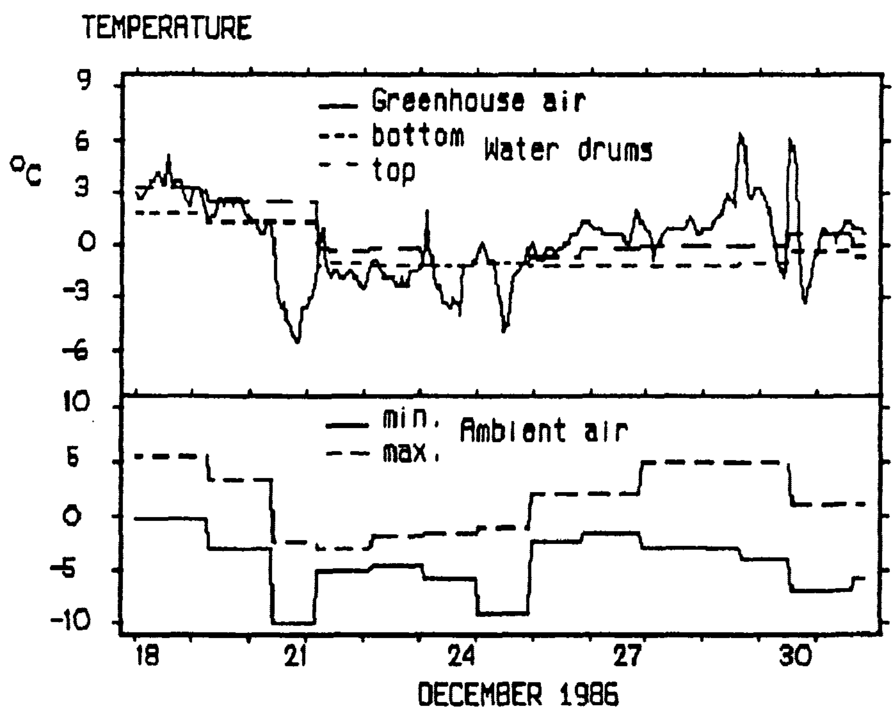


FIGURE 6

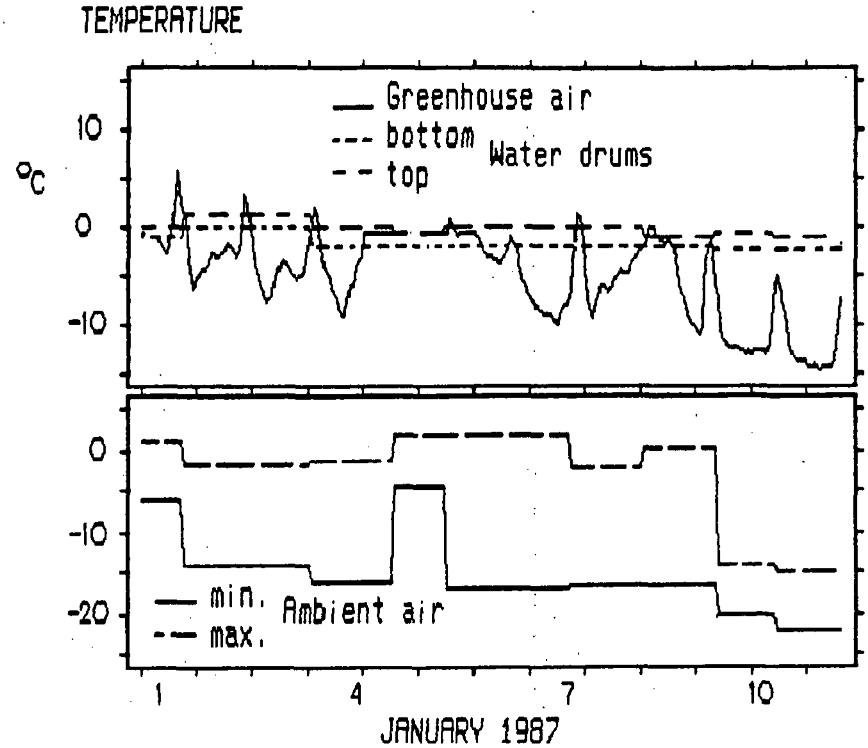


FIGURE 7

drums operate as a phase change store, with varying ratios between liquid water and ice but all the time with both components present.

Fig. 7 shows the situation in the beginning of January 1987, with outside minimum temperatures down to -22°C and maxima barely above 0°C. Inside the greenhouse, the air temperature is some 7°C above the outside value. It was feared, that the ice formation and associated expansion of volume might lead to rupture of the drums, but this was prevented by the following mechanism: Ice formation during night took place primarily along the sides of the drums. During the following day, the solar collector effect of the drum surface - even with the modest insolation available - turned out sufficient to melt a surface layer of the inside ice, so that the ice block in each drum rised freely. When fixation occurred during the following night's ice formation, the top surface of the ice remained at the higher level. The long term behavior was a growth in volume entirely occuring in the upwards direction (where sufficient space had been left in the drums to allow for this expansion).

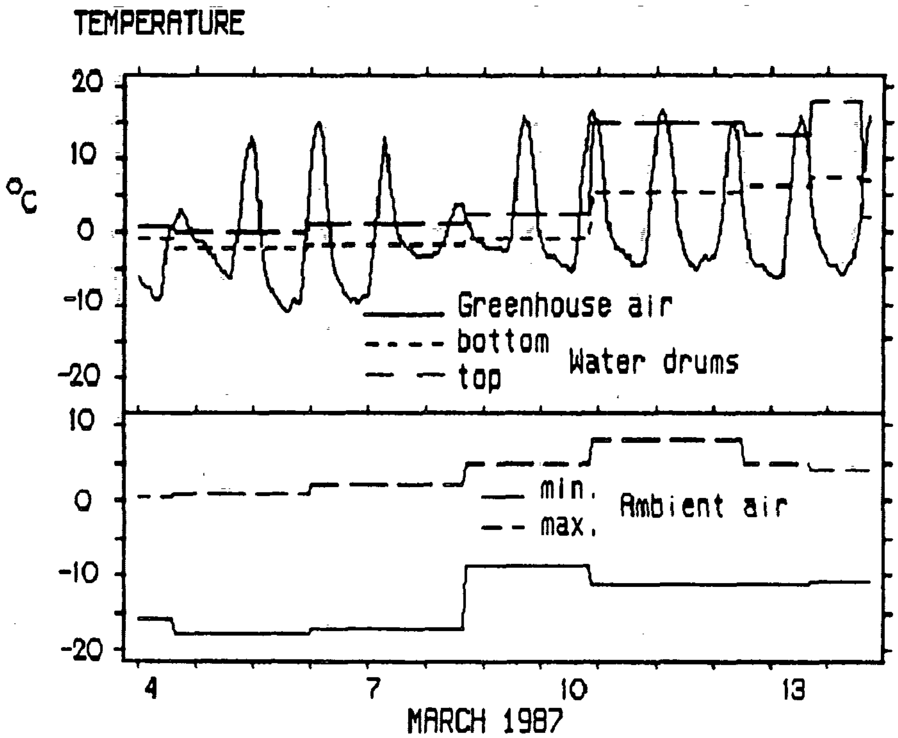


FIGURE 8

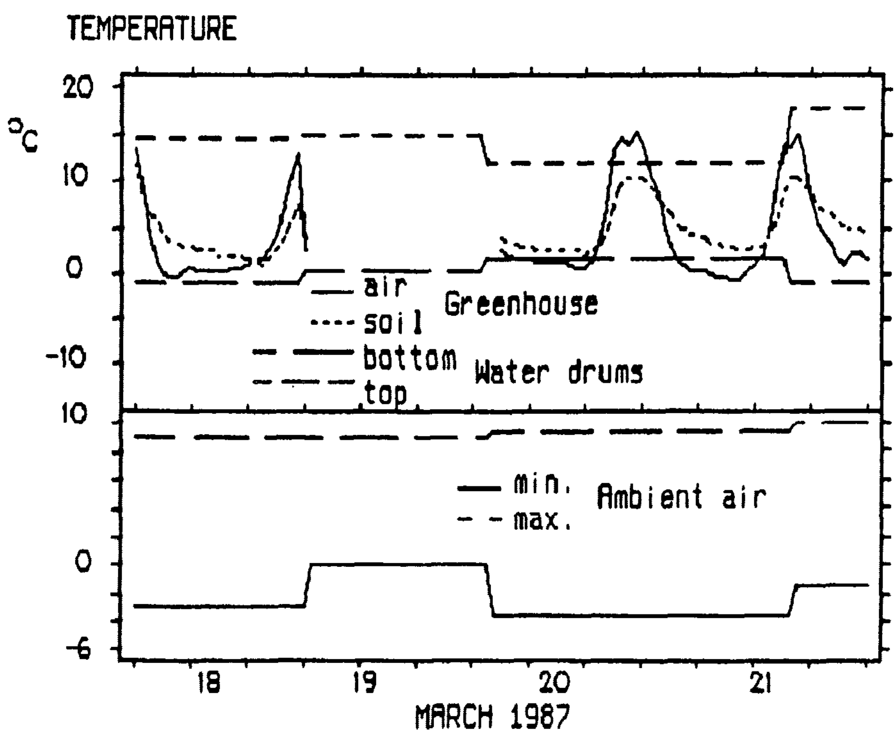


FIGURE 9

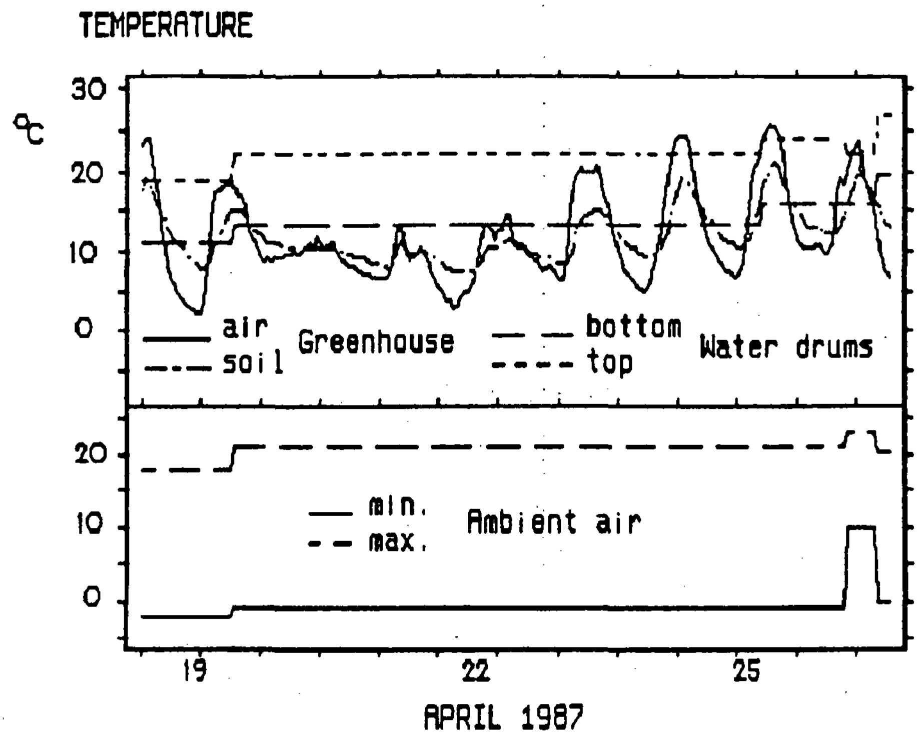


FIGURE 10

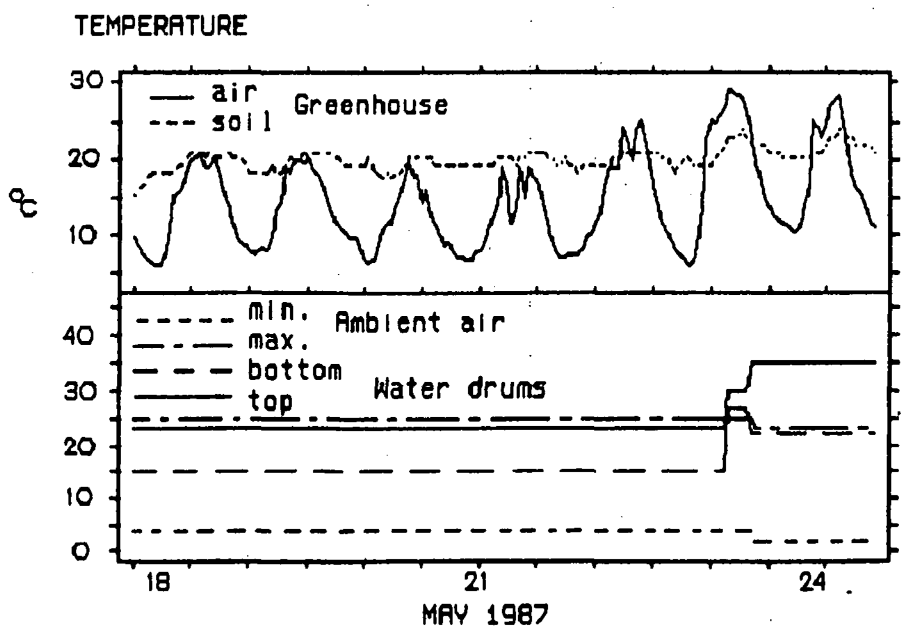


FIGURE 11

In Fig. 8, the transition of the store from phase change to heat capacity operation is illustrated. It is now March 1987, and the minimum outside temperature is still -10°C, but a substantial number of sunny hours occurs during daytime, bringing both peak inside air and storage top temperatures up to around 15°C (as compared with 5-8°C outside the greenhouse). The bottom drum temperature follows more moderately, some 10°C below the temperature in the top of the water containers. Later in March (Fig. 9), the temperature in the lower part of the drums is still near zero (with outside minimum temperatures of -3°C), but the greenhouse soil temperature remains above 0°C.

During April 1987, there are still nights with outside frost (Fig. 10), but now also the air in the greenhouse is above 0°C, and the first crops may be sown. The water drums maintain stable, stratified temperatures of about 20°C at the top and around 10°C at the bottom. Their smoothing action keeps the greenhouse soil temperature above 10°C.

Fig. 11 indicates that after May 18., the greenhouse soil temperature remains above 20°C, despite minimum air temperatures of around 6°C in the greenhouse and 1°C outside. This means that sensitive crops like melon will not be damaged, and enables their growth season to be prolonged by 4-6 weeks on the Spring side. One notes that the soil temperatures are substantially higher that those of the previous year before break-in of the storage system (Figs. 1 and 2).

4. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

The inexpensive water storage and solar collection system added to a small greenhouse has been shown to extend the period, during which the indoor greenhouse climate is suitable for growth, by at least a month both in Spring and in late Autumn. The period of near-zero temperatures depends on details of the outside temperature and insolation variations in a critical way, and on the Spring side, one would have to wait a few weeks after the first onset of suitable conditions, to be sure that no recurrence of unsuitable temperatures might occur within the greenhouse.

The behavior of the system during an unusually cold Winter has been very good (Figs. 12 and 13): It was not necessary to empty the drums in order to protect them against frost. Although replacing the water by 10°C tap water at a suitable time might have improved the performance further, such an operation would have been cumbersome and was judged to be inconvenient for many potential users of the concept.

Heat insulation of the greenhouse North wall(3) was contemplated but not installed, since it was considered on the basis of the short time constant of the greenhouse air, that heat losses would occur rather uniformly through all walls. Alternatively, insulation added between greenhouse soil and the surrounding soil might improve the overall performance, but would be difficult to keep dry, considering the wetness of the Danish climate.

REFERENCES

1. Danish Building Research Institute, Report No. 89, 1974.
2. T. McGowan and H. Black, Sunworld, vol. 4, pp. 150-153, 1980.
3. J. Jensen and B. Sørensen, Fundamentals of Energy Storage, John Wiley & Sons, New York 1984 (p. 300).

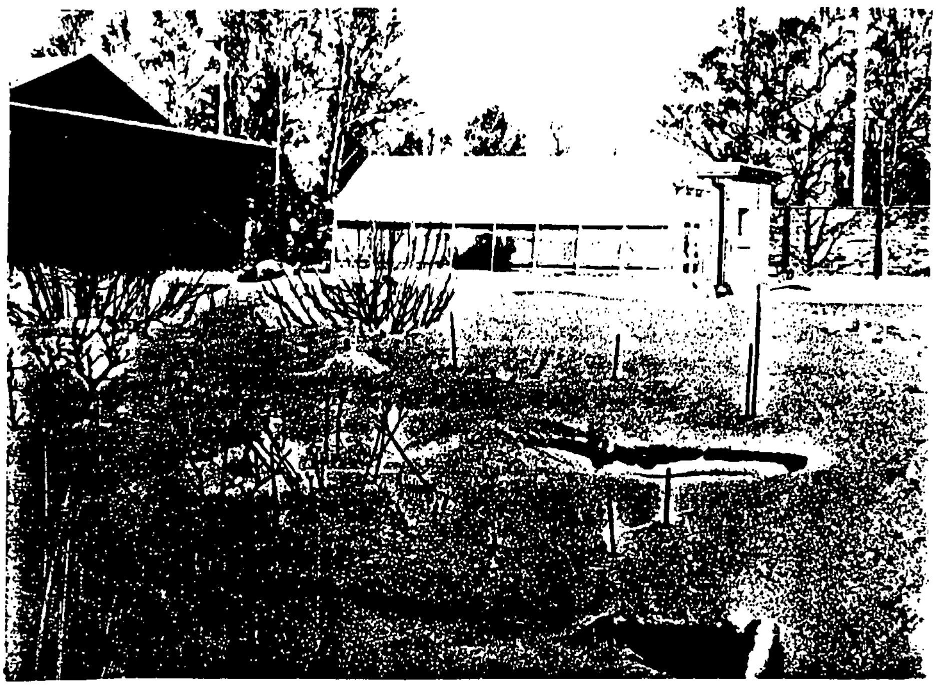


FIGURE 12. Cushy snow cover, January 1987.

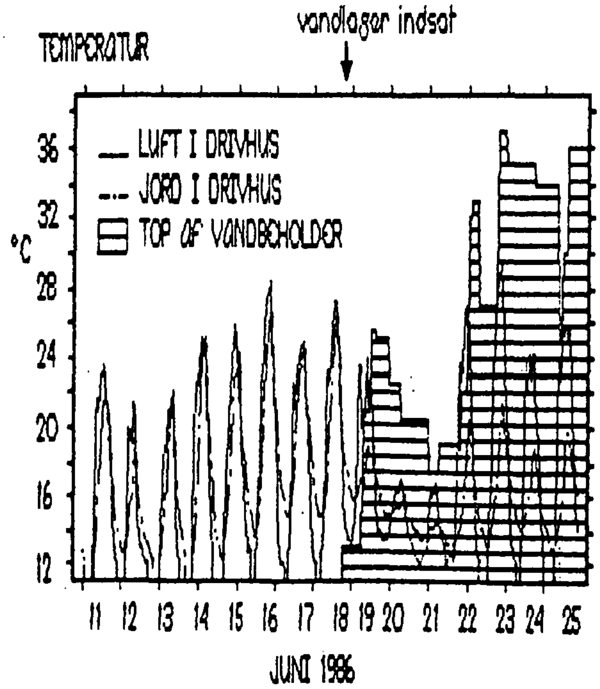
FIGURE 13. Daytime rime formation on drums, January 1987

ENERGILAGRING I DRIVHUS

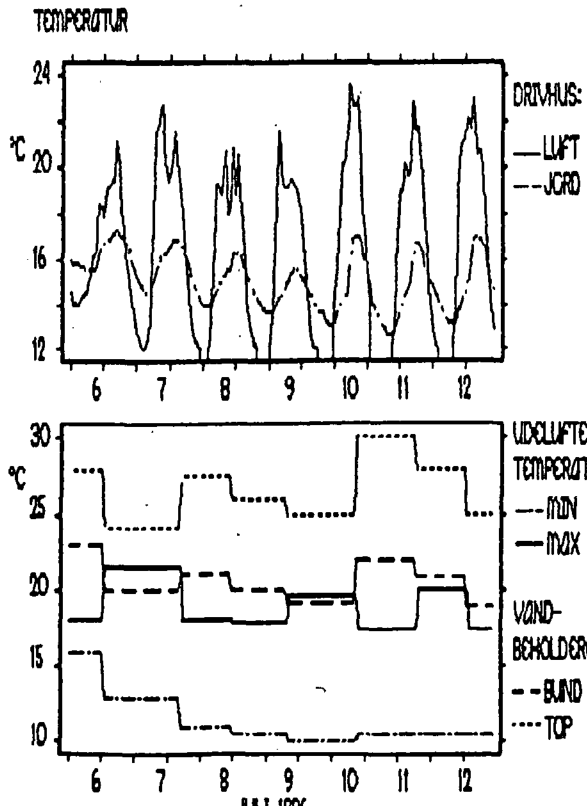
af Bent Sørensen, IMFUFA, RUC

Det her beskrevne anlæg består af fire vandfyldte olietønder (ialt 800 liter vand) placeret langs nordsiden i et 12 kvadratmeter drivhus. Tønderne er malet med sort tavlelak, så de fungerer som solfangere. Herved opsamles solenergi i dagtimerne, og vandtemperaturen stiger. Lageret tænkes dermed at kunne tjene to funktioner: Dels falder nattemperaturen i drivhuset mindre end den ellers ville gøre, hvilket gør at vækstsæsonen for nattefrostfølsomme afgrøder forlænges i både forår og efterår. Dels forhindrer vandlageret meget store temperaturstigninger i drivhuset på solrige sommerdage, hvilket mindsker risikoen for svidning af planterne.

Figur 1 viser forløbet af luft- og jordtemperatur i drivhuset før og efter installation af vandlageret i juni 1986. Det ses at udsvingene i jordtemperatur dæmpes betydeligt af lageret, mens lufttemperaturen har en kortere tidskonstant og derfor ikke dæmpes synligt. Temperaturen øverst i vandbeholderne er væsentligt højere end lufttemperaturen i drivhuset, og dæmpningen af maksimum temperaturerne er derfor beskeden. Figur 2 viser desuden temperaturen nederst i vandbeholderne (for nogle dage i juli 1986), som ses at være omkring fem grader lavere end i toppen af beholderne. Minimum jordtemperaturen i drivhuset ses at være ca. 2 grader over minimum temperaturerne udenfor drivhuset.

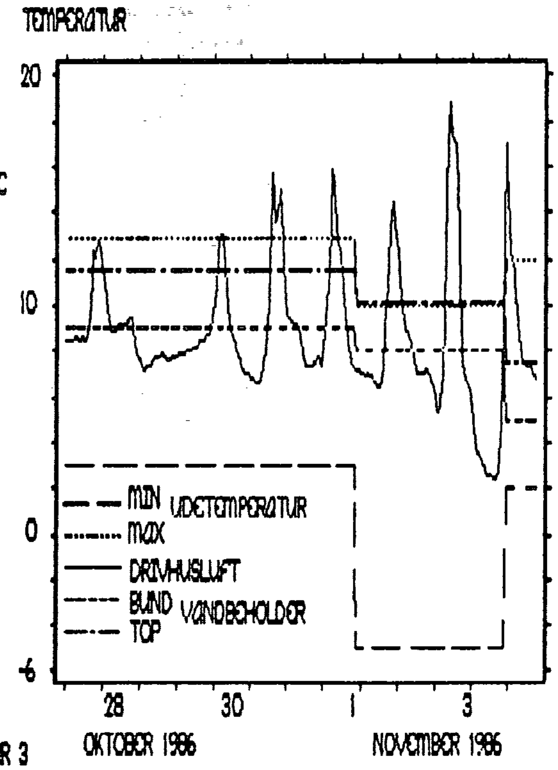


FIGUR 1

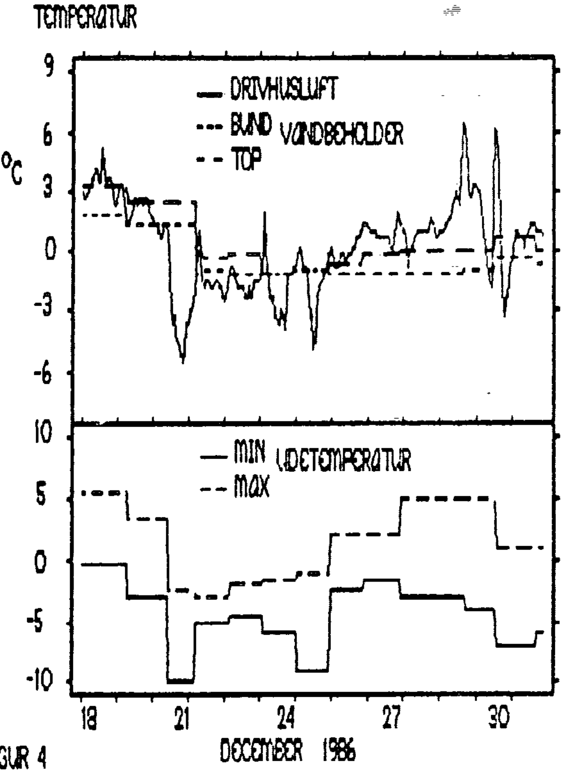


FIGUR 2

Figur 3 viser situationen i oktober 1986, hvor nattemperaturen ude falder til under frysepunktet. Temperaturen nederst i vandlageret falder kun til +5 grader, og lufttemperaturen i drivhuset forbliver over frysepunktet.

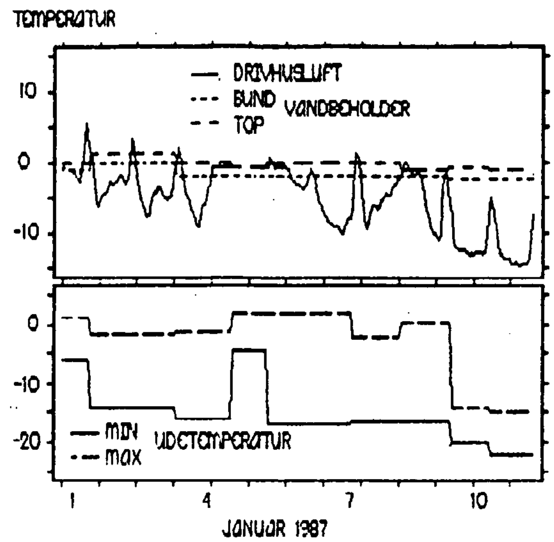


FIGUR 3

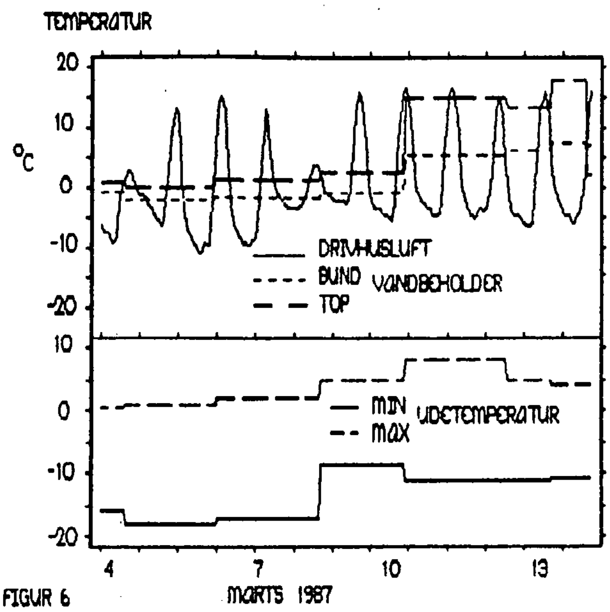


FIGUR 4

Først den 22. december 1986 falder vandlagerets temperatur til 0 grader (Figur 4). Herefter og frem til 10. marts 1987 fungerer lageret som faseovergangs-energilager, idet en større del af vandet fryser ved lavere udetemperaturer. Den pågældende vinter var ekstremt kold, med lange perioder hvor udetemperaturen lå mellem -15 og -20 grader C. Som det fremgår af Figur 5, holder lageret sig i to-faseform, og minimum lufttemperaturen i drivhuset holdes ca. 7 grader højere end udenfor. Vandbeholderne var kun påfyldt nogle få liter antifrostvæske (for at hindre en frossen skorpe i at dannes øverst), men alligevel skete ingen frostskader forårsaget af isens større volumen. Mekanismen der forhindrede dette var, at isdannelserne om natten skete langs tøndernes ydersider, men om dagen bevirkede solfangervirkningen af tøndernes overflade (trods beskedent lysindfald), at det yderste lag is smeltede og at isdannelserne skubbedes opad i hver tønde, så der igen blev plads til den følgende nats isdannelser.

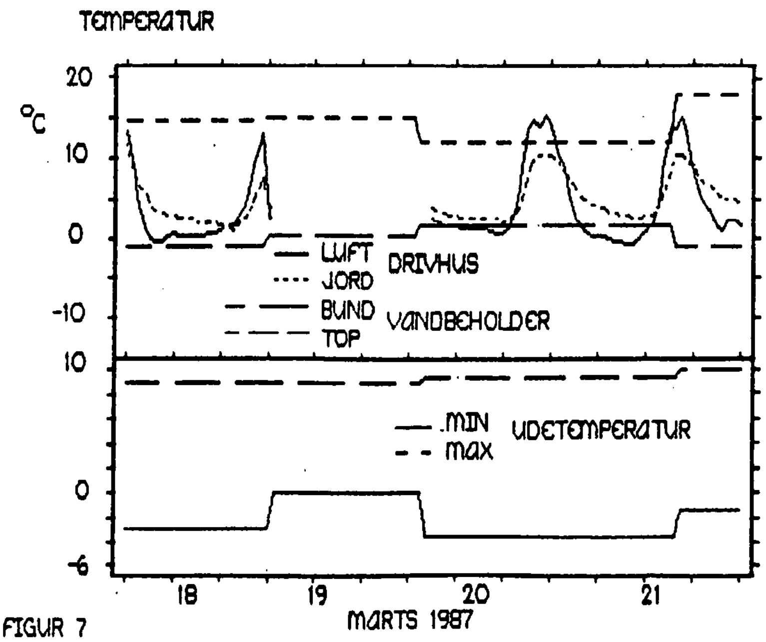


FIGUR 5

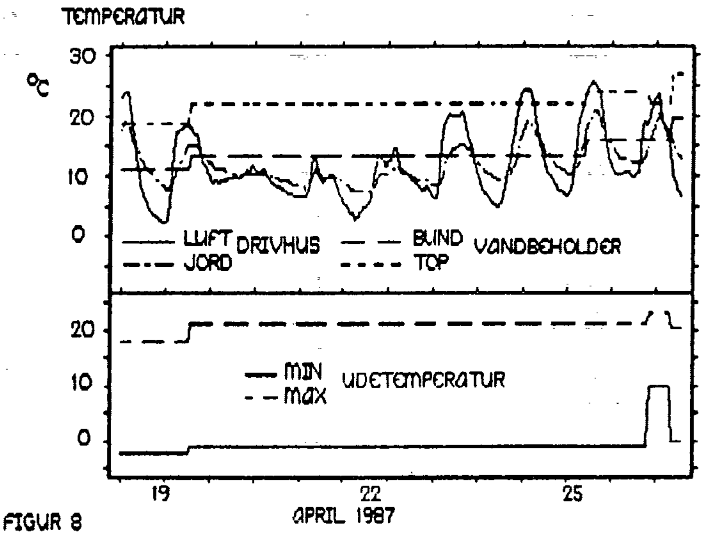


FIGUR 6

Figur 6 viser hvorledes lageret i marts igen overgår fra faseovergangslager til varmefylde-lager. Sidst i marts er temperaturen øverst i lageret nået op omkring 15 grader (Figur 7), men bundtemperaturen er stadig nær nul og lageret kan ikke hele tiden holde lufttemperaturen i drivhuset over frysepunktet (ved udetemperaturer på ca. -3 grader). Imidlertid holdes jordtemperaturen i drivhuset over nul, hvilket er det væsentlige for planternes vækststart.



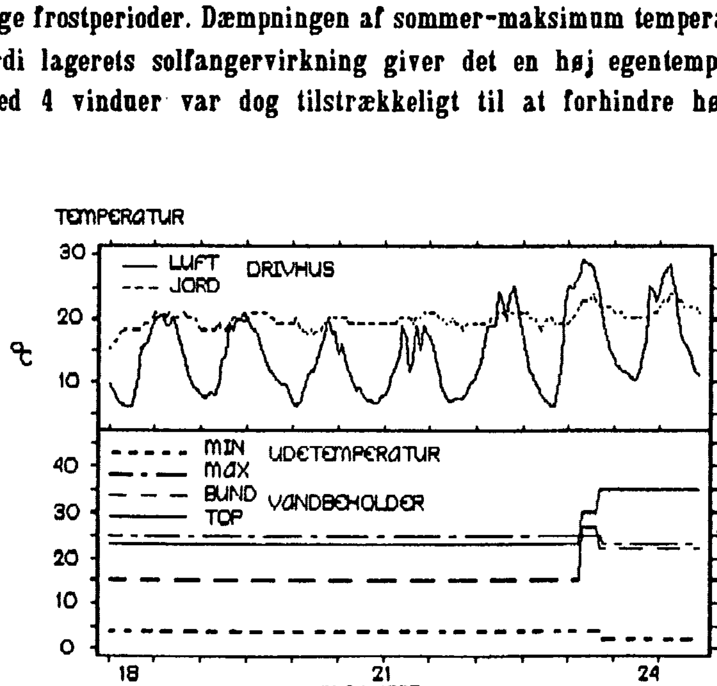
FIGUR 7



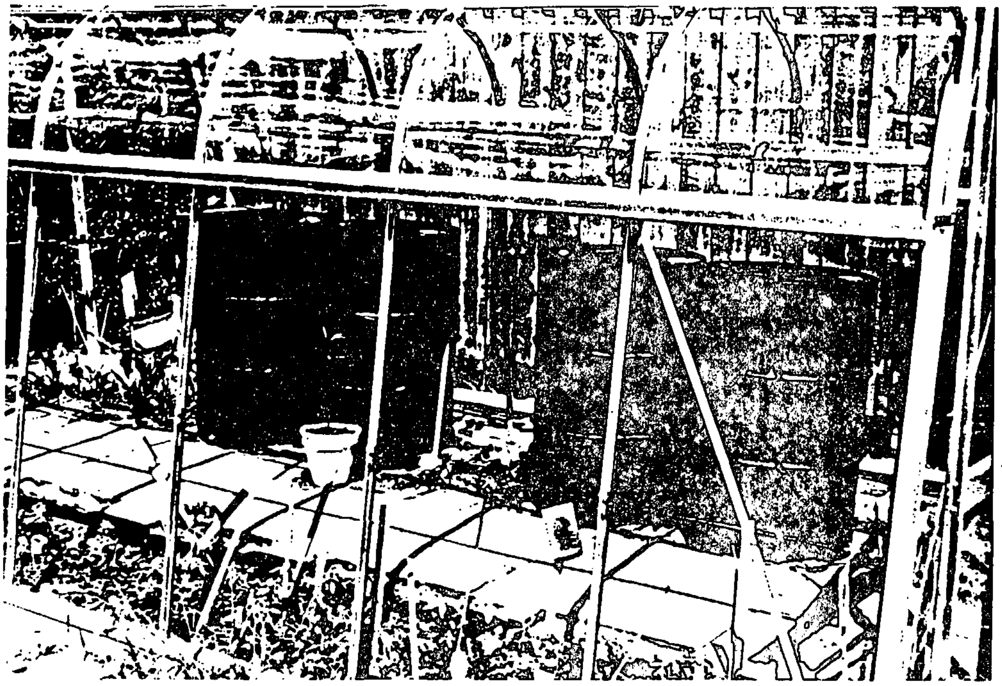
FIGUR 8

I april 1987 er der stadig enkelte nætter med nattefrost (Figur 8), men lageret holder nu luften i drivhuset frostfri og jordtemperaturen over 10 grader. Den gennemsnitlige temperatur i vandlageret ligger nu atter betydeligt over den gennemsnitlige lufttemperatur, og i maj 1987 når jordtemperaturen op omkring 20 grader, hvilket er den nødvendige temperatur for en række typiske drivhusafgrøder (Figur 9).

Konkluderende har eksperimentet vist, at det er muligt med et prisbilligt vandlager/solfangeranlæg at forlænge vækstsæsonen i drivhuse betydeligt, og uden at være tvunget til en arbejdskrævende tømning af lageret selv i strenge frostperioder. Dæmpningen af sommer-maksimum temperaturerne i drivhuset er mindre udpræget, fordi lagerets solfangervirkning giver det en høj egentemperatur. Et automatisk udluftningssystem med 4 vinduer var dog tilstrækkeligt til at forhindre højtemperaturskader på planterne.



FIGUR 9



1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen

2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen
Vejleder: Bernhelm Boss.

3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik.
Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.

4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Af: Mogens Niss
Nr. 4 er p.t. udgået.

5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
Af: Helge Kragh.
Nr. 5 er p.t. udgået.

6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.

7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
Af: B.V. Gnedenko.
Nr. 7 er udgået.

8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Af: Peder Voetmann Christiansen.

9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariom".
Projektrapport af: Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.

10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".
Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen,
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.

11/79 "STATISTISKE MATERIALER".
Af: Jørgen Larsen.

12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
Af: Mogens Brun Heefelt.
Nr. 12 er udgået.

13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.

14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of".
Af: Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.

15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af: Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Ckristiansen.

16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Af: Albert Christian Paulsen.

18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings af an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978.
Preprint.
Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)

19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.

20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen

21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMÅL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S.Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.

22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineært response og støj i fysikken.
Af: Peder Voetmann Christiansen.

23/79 "ON THE HISTORY AF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role af realitivity".
Af: Helge Kragh.

24/80 a+b "MATEMATIKOPFATTELSER HOS 2.G'ERE".
1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.

25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.

26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.
Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.

27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY AF SCIENCE IN PAUL DIRAC's PHYSICS".
Af: Helge Kragh.

28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller".
Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.

30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Af: Oluf Danielsen.
Nr. 30 er udgået.

31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".
Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
Nr. 31 er p.t. udgået.

32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER MÖSSBAUEREFFEKTMÅLINGER".
Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
Af: Arne Jakobsen.

34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT AF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO. I.
Af: Bent Sørensen
Nr. 34 er udgået.

35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.

36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.

37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.

38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.

39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.

40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.

41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.

42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.

43/81 1."COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2."ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.

44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.

45/82 Er aldrig udkommet.

46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDESE-
1+11 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O.Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.

47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.

48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedesen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.

49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.

50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.

51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK ?"
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.

52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.

53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.

54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.

55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Høyrup.

Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.

56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.

57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.

58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.

60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.

61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.

62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Høyrup.

63/83 "CREATING ENERGY FUTURES:A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.

64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Berhelm Booss og Jens Høyrup.

65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.

66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.

67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?"
Projektrapport af: Lone Biilmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.

68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK"
- til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i 1.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.

70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.

71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.

72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.

73/83 ""EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.

74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.

75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering.
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.

76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 1o
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.

77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.

78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUT I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projektrapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.

80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.

81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Specialerapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.

83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået

84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.

85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialerapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.

86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.

87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.

88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.

89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.

90/84 "ENERGI I 1.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.

91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.

92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.

93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.

94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.

95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen

96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lilletorup.
Vejleder: Bent Sørensen.

97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.

98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSALDEREN".
Af: Bent Sørensen.

99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.

100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.

101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.

102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSÆTNING".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
Projektrapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.

104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
Af: Jens Jæger.

105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT AF THE GLASS REANSITION".
Af: Tage Christensen.

"A SIMPLE MODEL AF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.

106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
Af: Bent Sørensen.

107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, CarstenHolst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Jesper Larsen.

108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATEMATICS CURRICULUM" - state and trends -
Af: Mogens Niss.

109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
Projektrapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Katler og Torben J. Andreasen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
Af: Bent Sørensen

111/85 JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
Projektrapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
Vejleder: Mogens Niss.

112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
Projektrapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.

113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.

114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONTIGENSTABELLER".
Projektrapport af: Lone Biilmann, Ole R. Jensen og Arne-Lise von Moos.
Vejleder: Jørgen Larsen.

115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENÆSSANCEN".
Af: Mogens Niss.

116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".
Af: Jeppe C. Dyre.

117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING"
Af: Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen

118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
Af: Peder Voetmann Christiansen

119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
Af: Iben Maj Christiansen
Vejleder: Mogens Niss.

120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
Af: Jørgen Larsen

121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
Af: Peder Voetmann Christiansen.

122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.

123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.

124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.

125/86 "UVBY,β - systemet - en effektiv fotometrisk spektralklassifikation af B-,A- og F-stjerner".
Projektrapport af: Birger Lundgren.

126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
Projektrapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen
Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.

127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".
Projektrapport af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.
Vejleder: Mogens Niss.

128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
Projektrapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.
Vejleder: Jeppe Dyre.

129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
Lecture Notes 1983 (1986)
Af: Bent Sørensen

130/86 "Studies in Wind Power"
Af: Bent Sørensen

131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historieprojekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.
Projektrapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius, Jens Højgaard Jensen.

132/86 "FYSIK OG DANNELSE"
Projektrapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.

133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA. ENERGY SERIES NO. 15.
AF: Bent Sørensen.

134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM"
Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Viščór

135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSES-TEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
MASTEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen

136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"
Projektrapport af Frank Colding Ludvigsen
Vejledere: Historie: Ib Thiersen
Fysik: Jens Højgaard Jensen

137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling
Af: Jeppe Dyre
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."

Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell

140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"

By: Jens Gravesen

141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"

Projektrapport af Finn C. Physant

Vejleder: Ib Thiersen

142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski

143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"

af: Mogens Brun Heefelt

144/87 "Context and Non-Locality - A Peircan Approach

Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Como Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"

Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987

By: Mogens Niss

146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"

- en ny frekvensbaseret målemetode.

Fysikspeciale af Jan Vedde

Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Viščor

147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"

redigeret af: Mogens Brun Heefelt

148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"

af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen

149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"

by: Petr Viščor

150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"

by: Petr Viščor

151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"

Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal

Vejleder: Mogens Niss

152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek
Krzysztof P. Wojciechowski

153/88 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER"

Et eksempel på humanistisk teknologihistorie
Historiespeciale

Af: Hans Hedal

Vejleder: Ib Thiersen

154/88 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND THE GLASS TRANSITION"

By: Jeppe Dyre

155/88 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"

by: Michael Pedersen

156/88 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"

by: Jeppe C. Dyre

157/88 " STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL: A pseudo-differential approach."

by: Michael Pedersen

158/88 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN RANDOM WALK MODELS"

by: Jeppe Dyre