



Chapitre d'actes

1996

Accepted version

Open Access

This is an author manuscript post-peer-reviewing (accepted version) of the original publication. The layout of the published version may differ .

Hypocaustmodell mit sensiblem und latentem Austausch

Hollmuller, Pierre; Lachal, Bernard Marie

How to cite

HOLLMULLER, Pierre, LACHAL, Bernard Marie. Hypocaustmodell mit sensiblem und latentem Austausch. In: TRNSYS Usertag 1996 (organised by Transsolar Klimaengineering, Stuttgart). Stuttgart. [s.l.] : [s.n.], 1996.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:34613>

Pierre Hollmuller, Bernard Lachal
Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie
Université de Genève
158, route de Florissant
CH-1231 Conchres-Genève

Hypocaustmodell mit sensiblem und latentem Austausch

Zusammenfassung

Wir stellen ein Hypocaust modell vor, das im Rahmen eines Kurzfrist Wärmespeicherungsexperiment in Gewächshäusern entwickelt wurde, wo wichtige und variable Luftfeuchtigkeit vorhanden war. Darum berechnet es sensiblen und latenten Wärmeaustausch. Luftdurchströmung kann abwechslungsweise in beiden Röhrenrichtungen stattfinden und das Modell ist geometrisch sehr flexibel: sowohl Bodeneigenschaften wie auch Initial- und Randbedingungen können individuell oder gruppenmässig bestimmt werden. Es kann den Wärmegeinn eines integrierten Ventilators, sowie dessen Druckverluste entlang den Röhren berücksichtigen, wie auch Wassereinsickern an Röhrende. Nachdem wir das Modell beschrieben haben, zeigen wir seine Anwendung auf zwei verschiedenen Systeme: das Kurzfrist Wärmespeicherungssystem, mit wichtigem latenten Austausch, und ein kanadischer Schacht für Frischluftherwärmung.

Abstract

We present a burried pipe modell which was developped in the frame of an experience dealing with short term heat storage in agricultural greenhouses, with important and varying humidity rates. Therefore it takes into account both sensible and latent heat exchange. It does allow airflows in one or the other pipe direction and is designed so as to accept flexible geometries: as well soil properties as initial and boundary conditions can be set individually or collectively on a range of nodes. Boundary conditions are either fixed temperature or adiabatic. It can include heat gains by an integrated fan and simple charge losses along the pipes, as well as waterinfiltration at pipe entrances.

Besides description of the modell, we present its use on two different systems: the short term heat storage system, with important latent exchanges, and a burried pipe system for warming up of fresh air.

1. Einführung

Das hier vorgestellte Modell wurde im Rahmen des vom schweizerischen Bundesamt für Energiewirtschaft finanzierten GEOSER Experiment entwickelt, das die kurzfristige Wärmespeicherung in Gewächshäusern behandelte [Ref.1]. Eines der studierten Speichersysteme war ein Erdspeicher mit begrabenen Röhren, indem die Luft wegen Temperaturstratifikation beim Aufladen in positiver, beim Entladen in negativer Richtung flossste. Des Innenklima der Gewächshäuser wegen (hohe Temperatur und Luftfeuchtigkeit), musste das Model ausserdem latenten und sensiblen Austausch berechnen, sowie die damit verbundenen Wasserflüsse. Das entwickelte Modell wurde der TRNSYS Umgebung angepasst und auf geometrische Flexibilität erarbeitet.

Nach der detaillierten Beschreibung des Modells, werden wir seine Anwendungen für zwei von uns im Detail gemessenen Systemen vorstellen:

- 1) das diffusive Speichersystem vom GEOSER-Experiment, wo die Wasserflüsse wichtig sind.
- 2) der Fall eines kanadischen Schachtes (Vorwärmung der Neuluft).

2. Modellbeschreibung und -Struktur

Das hier beschriebene Hypocaustmodell ist eine Erweiterung des von E.Razafinjohany entwickelten Modells [Ref.3], das auch schon sensiblen und latenten Wärmeaustausch und Luftdurchströmung in beiden Röhrenrichtungen erlaubte. Es wurde komplett neu geschrieben und erarbeitet, insbesondere hinsichtlich auf Flexibilität (Geometrie, Bodenvariationen, Randbedingungen), Mitbezug der Dissipativ- und Druckverlustwärme eines integrierten Ventilators sowie Wassereinsickern an Röhrenende, genauere Wasserbilanzberechnung, und wurde der TRNSYS-Umgebung integriert.

Das Modell beschreibt ein Netz rechteckigen Maschen. Die von Luft durchströmten Röhren werden von Maschereihen entlang der X-Axe beschrieben, wobei die anderen Maschen den umgebenden Boden darstellen. Die Röhren können kürzer als das Maschennetz sein, was die Berechnung der Diffusion ins vor- und hinterstehende Gelände ermöglicht. Der Maschenabstand kann individuell und gemäss all drei Axen bestimmt werden, was verschiedene Röhrenquerschnitte und Bodendichten zulässt. Die Röhren bestehen aus einem einzigen zugeschriebenen Material und haben alle eine gleiche bestimmte Dicke (eventuell null). Die Bodenmaschen werden hingegen gruppenmässig verschiedenen Bodentypen zugeordnet. Dies ermöglicht es, Bodenvariationen zu simulieren, insbesondere die Isolation und die Wärmediffusion ins umgebende Gelände. Die Randmaschen werden ebenfalls gruppenmässig verschiedenen Randbedingungen zugeordnet, entweder adiabatisch oder isotherm. Wenn es die Symetrie in der YZ-Ebene erlaubt (regelmässiger Röhrenabstand und adiabatische Randbedingungen), kann das Modell ausserdem mit der Bestimmung eines einzigen Mustergrabens beschrieben werden, was Rechenzeit und Speicherraum umsoviel verringert.

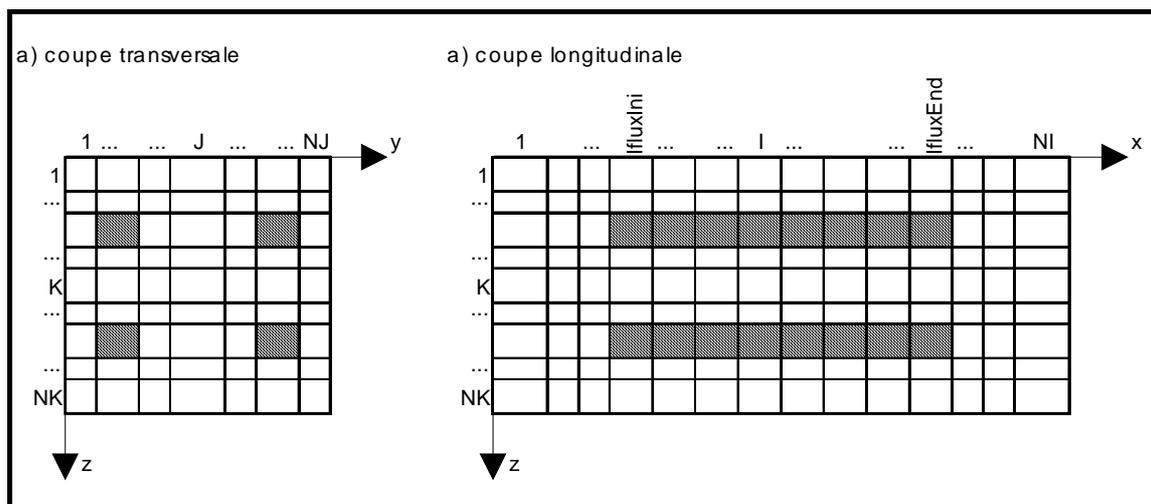


Abb.1: Geometrie des Modells (Beispiel)

An jedem Zeitschritt findet die Modellierung in zwei Schritten statt : zuerst den Austausch zwischen Luft und Röhren, sehr schnelles Phänomen, dann die langsamere Diffusion in den Boden. Der Gesamtluftstrom wird proportional zu den Querschnitten auf die Röhren verteilt, welche jeweils in positiver oder negativer Richtung durchströmt werden. Röhren- und Lufttemperatur wie auch Wasserbehalt der Luft werden in jeder Masche gemäss Austrittsbedingungen der vorigen Masche sowie Nachbar- und eigener Maschentemperatur am vorigen Zeitschritt (und im Falle von Verdampfung auch Wasserbehalt auf der Röhrenfläche) neu berechnet und der nächsten Masche weiter gegeben. Einsickern von Wasser in das eine oder andere Ende der Röhren kann ebenfalls berücksichtigt werden. Das vom Einsickern und/oder Kondensieren des Luftstromes herbeigeführte Wasser verbleibt in der Masche auf einer bestimmten Flächenproportion und bis zu einer bestimmten Dicke, wobei das Übermass in die nächste Masche weiterfliesst. An einem beider Röhrenende kann zudem der Dissipativeffekt eines integrierten Ventilators berücksichtigt werden, wobei die Druckverlustwärme auf die gesamte Röhrenfläche uniform verteilt wird. Die aus den

Röhren individuell austretenden Luftströme werden dann wieder gemischt und die Gesamttemperatur und -luftfeuchtigkeit demnach errechnet.

Im zweiten Schritt wird dann für jede Bodenmasche die Temperatur gemäss Nachbar- und eigener Maschentemperatur am vorigen Zeitschritt neu berechnet, wobei im Falle von Röhrenachbarn soeben berechnete Temperatur des aktuellen Zeitschritts in Bezug genommen wird.

Um die Verknüpfung mit anderen Modulen zu gewährleisten, berechnet das Modell für jede wie obig bestimmte Randmaschengruppe die äquivalente, mit Austauschfaktoren ausgeglichene Innenrandtemperatur. Die Verknüpfung entsteht dann durch Halbüberlappung der äusseren Schichten beider Modulen, indem die so berechnete Innenrandtemperatur als Randbedingung des anderen Moduls dient, und umgekehrt dessen Innenrandtemperatur als Randbedingung für das Röhrenmodul. Jeder Zeitschritt muss dann so oft neu simuliert werden, bis die entsprechenden Randbedingungen stabil sind, was mit der TRNSYS-Umgebung also automatisch vom Hauptprogramm übernommen wird.

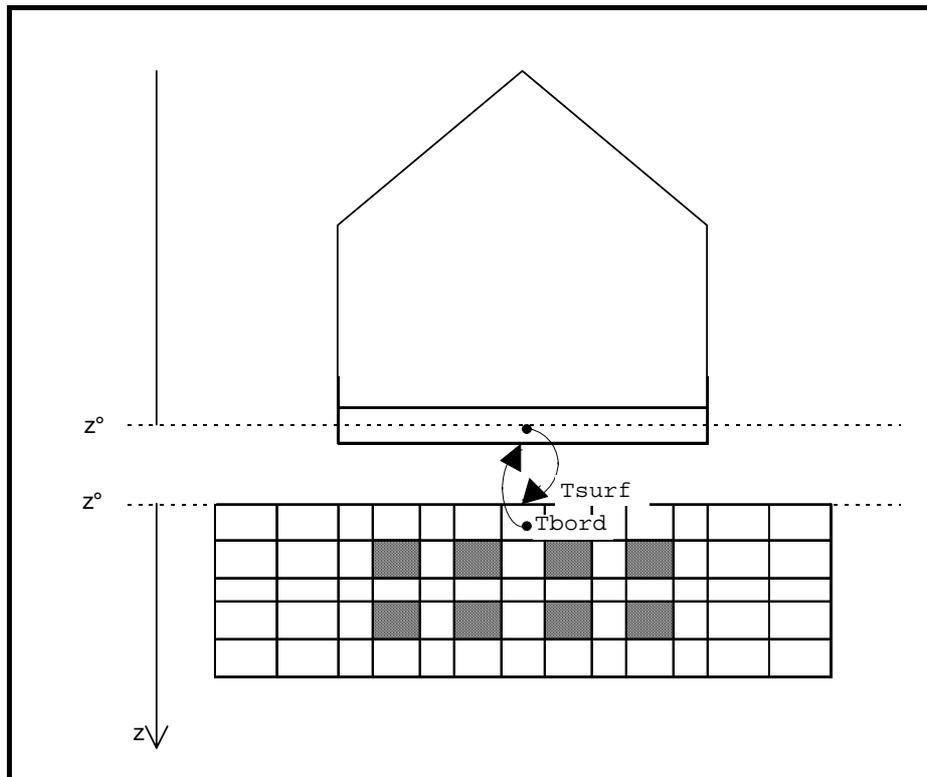


Abb.2: Verknüpfung mit anderem Modul (Beispiel)

3. Anwendung für ein Wärmespeicher mit begrabenen Röhren (GEOSER-Projekt)

Experimentbeschreibung

Ein Gewächshaus, das sich in Conthey (Wallis, Schweiz) befindet, im Centre Fédéral de Recherche Agronomique des Fougères, besitzt 24 Kunststoffrohre von 16cm Durchmesser und 8 m Länge, welche in 80cm Tiefe unter das Gewächshaus begraben sind und als Wärmetauscher zwischen Innenluft und Boden dienen. Ein regulierbarer Ventilator (0-7000 m³/Std) wird von der Steuerungsanlage bedient und ermöglicht das Speichern des Wärmeüberschusses am Tag, und dessen Rückerstattung in der Nacht. 17 Monate kompletter Messungen mit hoher Frequenz (5 Minuten) dieses Systems sowie eines Wassertank-Speichersystems und eines Referenzhaus (insgesamt etwa 100 Sensoren), erlaubten es die studierten Systeme im Detail zu analysieren und simulieren [Ref.1]. Wird werden hier nur den Vergleich zwischen Messungen und Simulation von sensiblen und latenten Leistungen im Erdspeicher über einige Tage aus besprechen. Es handelt sich um einige Frühlingstage (April 1994) während denen wichtiger latenter Wärmeaustausch

stattfindet, das auf das Innenklima des Gewächshauses (28°C, 80% Luftfeuchtigkeit) zurück zu führen ist [Ref.2]. Das Hypocaustmodell wurde hier mit den Messdaten als Rand- und Inputbedingungen gebraucht, also im Moment ohne Verknüpfung mit dem Gewächshausmodell.

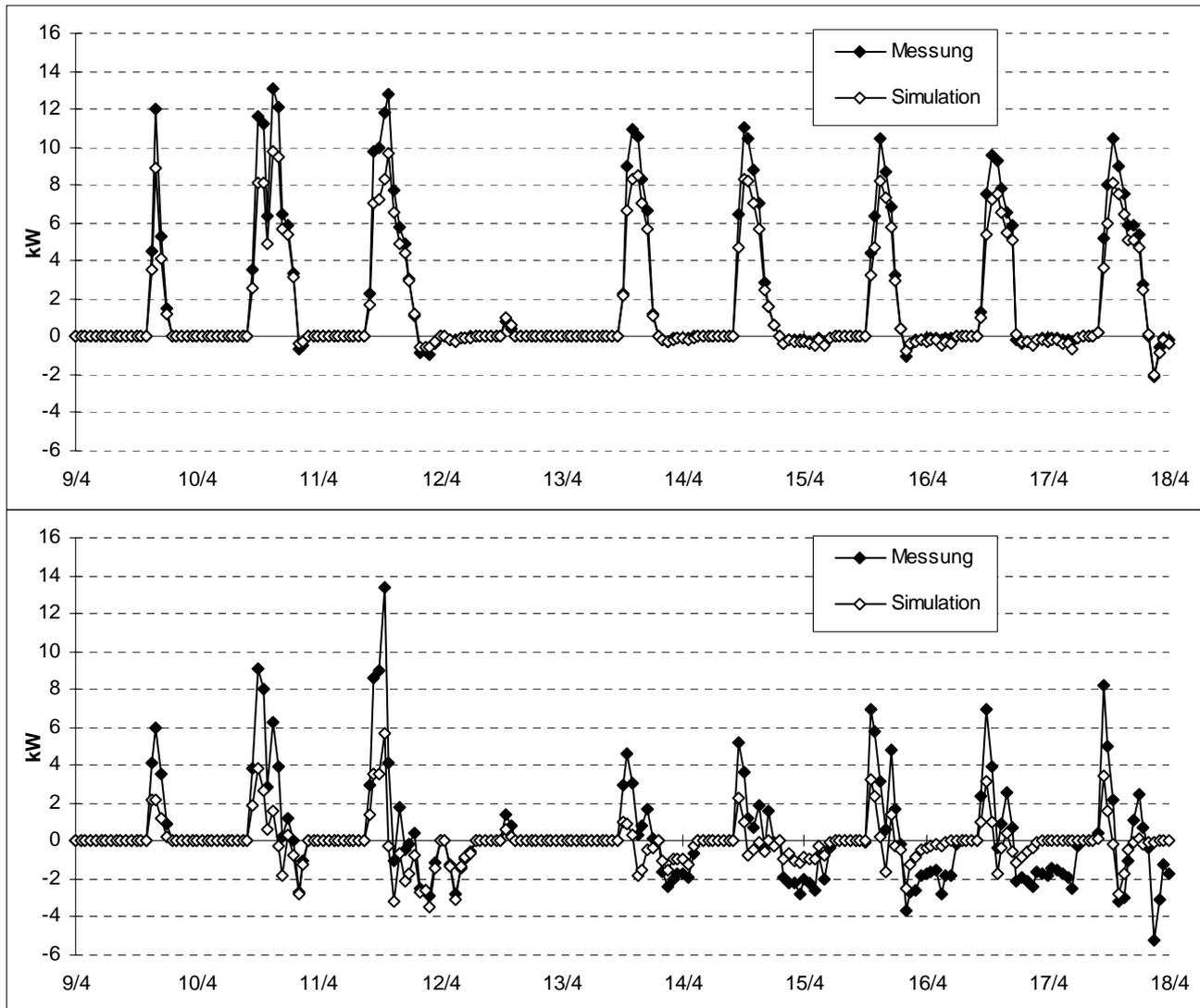


Abb.3: GEOSER Experiment: Vergleich zwischen Simulation und Messung a)sensible Wärme b)latente Wärme.

Diskussion

Die in Figur 3 dargestellte Zeitspanne geht vom 9 bis zum 17 April 1994. Das Gewächshaus beherbergte dann eine Gurkenkultur und die Minimaltemperatursollwerte (Heizung) waren von 21°C (Nacht), respektiv 23°C (Tag). Das Vernebelungssystem kontrollierte die Innenfeuchtigkeit auf rund 80% ($\pm 10\%$). Das Wetter war sonnig, warm am Tag, kalt in der Nacht.

Am Anfang der Zeitspanne folgen die simulierten Werte ziemlich genau die gemessenen Werte. Die latenten Austausche sind insbesondere gut wiederberechnet: morgens, während des Aufladen, zuerst Kondensation (positive Werte), wenn sich die Lufttemperatur mit konstanter 80% Feuchtigkeit auf 30°C erwärmt und der Boden auf etwa 23°C bleibt. Als sich der Boden dann erwärmt, Wiederverdampfung (negative Werte) des auf den Röhren fixierten Kondensatswassers- trotz leichter 2% Neigung. Das am Ende der Röhren gemessene dränierte Wasser - bis 25 Liter pro Tag - zeugt von dieser ersten Kondensation.

Am Ende der Zeitspanne ist dann aber das gemessene Verdampfungswasser wichtiger als der entsprechende simulierte Wert. Am vorletzten Tag wird zum Beispiel die Gesamtheit des am Tagesanfang kondensierten Wassers während derselben Aufladezeit wieder verdampft (laut

Berechnung), was also mit dem beim Entladen gemessenen Weiterverdampfen nicht übereinstimmt. Dieses zusätzlich verdampfte Wasser kommt von Regensickern in den Betonkollektoren, sowie von mitsweiffen feinsten Tröpfchen von Vernebelungssystem. Solche Effekte können nur sehr mühsam wiedersimuliert werden. Sensible Austausche - die einzigen die in diesem Projekt für Energieeinsparung relevant sind, werden aber ziemlich genau wiederberechnet. Dieses Beispiel zeigt also zugleich die Leistungsfähigkeit des Modells und die Komplexität der Phenomenen, mit denen man sich mit solchen Kondensation/Verdampfungs Problemen befindet.

4. Anwendung für kanadischen Schacht

In diesem zweiten Beispiel handelt es sich um einen kanadischen Schacht, das 50cm unter einem unterirdischen Parkplatz eines in der Stadt Genf liegenden Gebäude befindet. Es besteht aus 49 Röhren von 125 mm Durchmesser und 48m Länge in welchen Frischluft für Wohnungen durchsaugt wird (3000 m³/Stunde). Der kanadische Schacht wird mit einer Luftsolaranlage by-gepasst wenn die Sonneneinstrahlung genügend ist. Eine Messkampagne wurde während einiger Wochen durchgeführt (21 Sensoren, alle 15' abgespeichert). Das Rechenmodell wurde unabhängig von anderen Modulen gebraucht. Eingangstemperatur und -feuchtigkeit sowie gemessene Oberflächentemperatur und angenommene Grundwassertemperatur wurden als einzige Randbedingungen genommen. Vergleich zwischen Berechnung und Simulation werden in folgender Figur dargegeben. Der Einklang ist ausgezeichnet. Es muss beobachtet werden, dass in diesem Fall keine latente Austausche stattfinden.

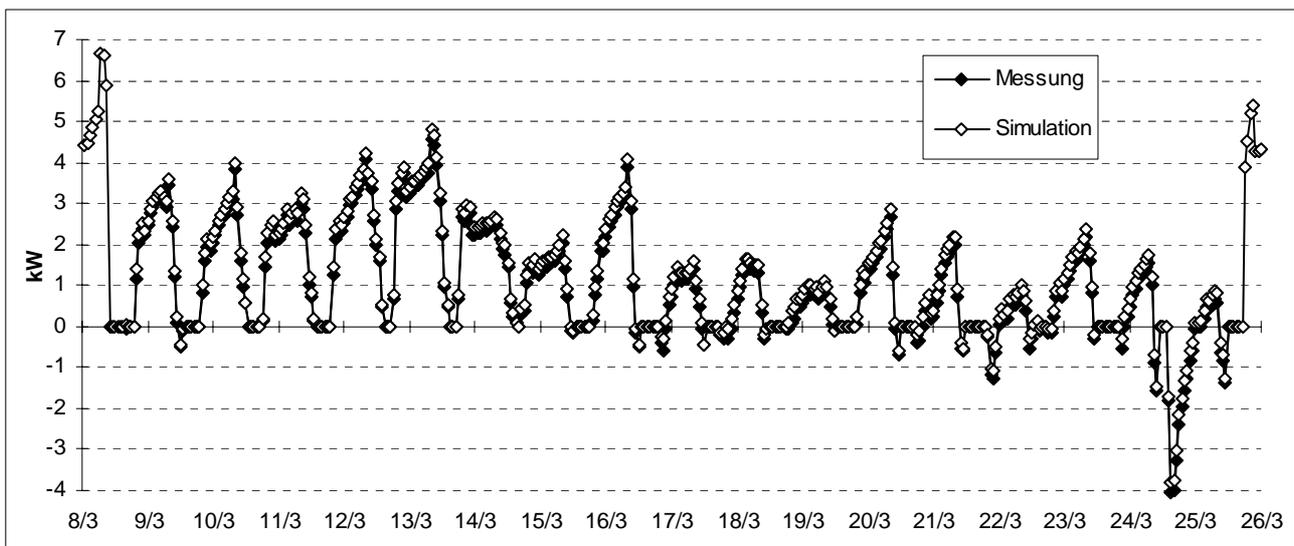


Abb.4: kanadischer Schacht: Vergleich zwischen Simulation und Messung.

5. Schlussfolgerungen

Das hier dargestellte Modell ermöglichte es zwei sehr verschiedene Systeme von Luft durchströmten Röhren sehr befriedigend zu simulieren. Seine Flexibilität könnte es zum berechnen anderer Systemen bringen (zum Beispiel Hypocauste, Verknüpfung mit Wintergärten). Das Berücksichtigen von Kondensation/Verdampfung macht dieses Modell sehr leistungsfähig, obwohl diese Phenomenen in der Wirklichkeit sehr schwer zu erfassen sind.

Dank

Wir danken das schweizerische Bundesamt für Energiewirtschaft sowie l'Office Cantonal de l'Energie für die finanzielle Unterstützung, unsere Kollege vom GEOSER Experiment, Herrn Reist,

Gil, Pampaloni und Jaboyrdoff, sowie Herrn Boulard und Razafinjohany aus dem Centre de recherche agronomique de Montfavet (F), für das bereitlegen ihres Modells.

Bibliographie

1. Reist A., Danloy L., Hollmuller P., Jaboyedoff P., Lachal B., "GEOSER", ENET-Tagung, 15 Februar 1996, Conthey (CH) sowie Schlussbericht (noch nicht ausgegeben)
2. Lachal B., Gil J., Reist A., Jaboyedoff P., Hollmuller P., "GEOSER. Short term heat storage comparison in three agricultural greenhouses", Conférence européenne sur les performances énergétique et qualité des ambiances dans le bâtiment, Lyon, 23-24 November 1994.
3. Razafinjohany E., "Etude comparative dans les serres agricoles de deux systèmes de stockage influencés par l'humidité de l'air", thèse, 1989, Académie de Montpellier, Université de Perpignan.