



Heat Pump/Thermal Storage in Combinations for Enhancing Passive Solar Heating of Canadian Houses

Prepared For:

CANMET Energy Technology Centre-Ottawa
Buildings Group - Energy Sector
Department of Natural Resources Canada
Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E4
September 1989

Prepared By:

Allen Associates
33 Madison Avenue
Toronto, Ontario, Canada, M5R 2S2
Tel: (416) 962-6193

Scientific Authority:

Mark Riley
Buildings Group - Energy Sector
CANMET Energy Technology Centre-Ottawa
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 13th Floor
Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E4

Re-Print: February 12, 2003

CITATION

Kani, M., Allen Associates. *Heat Pump/Thermal Storage Combinations for Enhancing Passive Solar Heating of Canadian Homes*. DSS File No. 23283-7-6219/01-SZ. Prepared for the Buildings Group, Energy Sector, CANMET Energy Technology Centre – Ottawa, Department of Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, 1989. (65 pages).

Copies of this report may be obtained through the following:

CANMET Energy Technology Centre (CETC)
Energy Sector
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 13th Floor
Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E4

DISCLAIMER

This report is distributed for informational purposes only and does not necessarily reflect the views of the Government of Canada nor constitute an endorsement of any commercial product or person. Neither Canada, its ministers, officers, employees nor agents make any warranty or representation, expressed or implied, with respect to the use of any information, apparatus, method, process or similar items disclosed in this report, that such use does not infringe on or interfere with the privately owned rights, including any party's intellectual property or assume any liability or responsibility arising out of this report.

NOTE

Funding for this project was provided by the Federal Panel of Energy Research and Development, Department of Natural Resources Canada

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to thank Greg Allen and Robin Krause of Allen Associates for their contribution towards this study. The cooperation of Steve Carpenter and Alex McGowan of Enermodal Engineering Ltd. Is appreciated for the endless Enerpass runs that they provided.

TABLE OF CONTENTS

ACKNOWLEDGEMENTS	i
ABSTRACT	ii
TABLE OF CONTENTS	iii
EXECUTIVE SUMMARY	iv
RESUME	vii
1.0 BACKGROUND	1
2.0 APPROACH	4
2.1 SYSTEM 1: Indoor Air Heat Pump/DHW Supply	5
2.2 SYSTEM 2: Indoor Air Heat Pump/Space and DHW Supply	5
2.3 SYSTEM 3: Integrated Mechanical System/Ice Storage	5
2.4 SYSTEM 4: Integrated Mechanical System/Ground Storage	7
2.5 SYSTEM 5: Heat Pump-Coupled Rockstore	7
3.0 THERMAL PERFORMANCE MODELLING	10
3.1 Model Houses	10
3.2 Heat Pump Performance	15
3.3 System Models for Computer Simulations	18
3.4 Results of Computer Simulations	25
4.0 CAPITAL COSTS AND COST EFFECTIVENESS	50
4.1 Capital Costs of Systems	50
4.2 Cost Effectiveness	53
5.0 DESIGN OF HEAT PUMP/THERMAL STORAGE COMBINATIONS	56
5.1 Sizing of Components	56
5.2 Energy Credit Calculations	58
6.0 REVIEW OF ISSUES RELATED TO STANDARDS	62
7.0 CONCLUSIONS	63
REFERENCES	65
APPENDIX A: Heat Pump/Thermal Storage Design and Installation Guidelines	
APPENDIX B: Ground Store Modelling with ENERPASS	
APPENDIX C: Reversible Airflow Rockstore Factsheet	

EXECUTIVE SUMMARY

With the increased use of large areas of south facing, high R-value glazings, passive solar gains can play an increased role in supplanting domestic heating loads. At the same time, comfort control must be addressed to avoid overheating.

Traditional outdoor air source heat pumps can provide heating and cooling but have poor heating performance at cold outdoor temperatures and do not utilize waste heat generated indoors in summer and winter (i.e. from solar gains, exhaust air and grey water recovery and space cooling). However, heat pump technology can supply heating loads at high efficiencies as long as sufficient waste heat sources (at 0°C or higher) are available. In a passive solar residence, occupant activities, ventilation and solar gains provide ample low grade heat sources, but are typically not coincident with building loads. Thermal storage strategies can ensure that the waste heat is captured and stored for supply to eventual space and hot water requirements.

Heat-pump-based integrated mechanical systems combined with thermal storage have the potential to both increase solar utilization and provide adequate space cooling. Usually offered as a single package, integrated mechanical systems combine a number of otherwise discrete pieces of equipment. Functions that are integrated include space heating, space cooling, ventilation exhaust air heat recovery, and domestic water heating. The benefits are reduced initial capital costs and installation labour, and increased energy efficiency.

This study examines five residential-scale heat pump/thermal storage combinations designed to increase in passive solar gain utilization and economic feasibility. Using a modified version of the detailed hour-by-hour computer program, ENERPASS, these systems were modelled for thermal performance. Thermal storage modelling included a large hot water tank, a reversible airflow rock store and ice phase-change storage, both as an indoor tank and an exterior ground storage.

The house used for modelling is a 200 m² two-storey dwelling. South-glazing-to-interior-floor-area ratios (GFR) of 7% to 20% were examined. Three thermal envelopes were defined: a "NBC" house insulated at the National Building Code levels; an Energy-Efficient (EE) house with higher insulation levels, significantly improved windows and basement slab insulation; and a Super-Energy-Efficient (SEE) house with a further increase in insulation levels, RSI 1.25 windows and an attached sunspace. The attached sunspace is located on the first floor of the south facade and constitutes 50% of the south-facing glazing.

Of the systems studied, the most cost-effective heat pump/thermal storage configurations are fully integrated mechanical systems with either isolated ice storage or with phase-change ground storage. The cost effectiveness is slightly better than HRV's on a payback basis (less than 3 years) but the cost savings realized after 5 years (including incremental capital costs) are more than 2 times as large. These systems extract heat from ventilation air, grey water, and ground, as well as utilizing excess solar gains. As such, their performance is not highly affected by varying the solar aperture.

On the other hand, they are able to control overheating with glazing-to-floor ratios up to 20%, thereby allowing the designer significant architectural freedom.

The payback of a simple DHW heat pump extracting heat from space to offset water heating used in combination with a heat recovery ventilator has a payback of just over 5 years. This is a low-cost package yielding significant ventilation and water heating energy savings (\$500 per year) while providing partial air conditioning. This combination may be adequate for many houses, particularly if the site is exposed and conscientious venting and some solar shading is practiced in summer.

There seems to be promise in developing an improved air conditioning heat pump with large warm water storage that also has a ventilation heat recovery function. If the cost of such a system is similar to other systems studied, a payback of about 4 years would be achieved.

The total 5-year cost savings (incl. incremental costs) for the three more promising configurations when compared to conventional systems are as follows (electricity \$16/GJ, gas \$10/GJ)

- DHW heat pump w/HRV: \$1100 (elec. base case only)
- Integrated Mechanical System: \$1600-2400
- Int. Mech. System w/ground storage: \$2000-2600

Calculation procedures for the energy benefits were developed in terms of manufacturers' specifications under typical operating conditions. The energy benefits are subtracted from annual total (space + DHW) heating consumption established from thermal modelling with a conventional mechanical system.

Preheating of ventilation air by drawing it via the one-storey attached sunspace used in this study contributes an equivalent heat recovery effectiveness of 30% or typically 9 GJ or \$145. This is additional to any exhaust air heat recovery that may be realized by an exhaust-only ventilating heat pump.

The most interesting result of this study is the phase-change ground storage modelling of a volume of saturated soil or man-made aquifer in contact with surrounding soil. Computer simulations yielded optimized annual storage capacities amounting to only 8% of the annual total (space + DHW) heating loads. This requires significantly less yard area for locating the storage, and heat exchange may be achieved simply by burying 1 or 2 large solar pool collectors or a ground heat exchanger coil similar to the helical direct expansion coil developed at NRC.

The computer modelling confirmed that improved window technology and increased solar gains allow architectural freedom to design large south facing window areas without an energy penalty. Several heat pump/thermal storage combinations are able to control summer and winter overheating while making use of increased solar gains. When combined with other gains, such as ventilation heat recovery, grey water heat recovery and ground heat extraction, they can yield impressive cost feasibility. Field trials of these systems, in particular the artificial aquifer ground storage, should be

pursued. Concurrently, work should be pursued on the development of a standard procedure for rating these types of systems and determining their energy credits.

RÉSUMÉ

Le recours accru aux grands vitrages à facteur d'isolation élevé sur la face sud des bâtiments permet aux systèmes solaires passifs de faire un apport considérable au chauffage domestique. Il faut cependant contrôler l'ambiance afin d'éviter la surchauffe.

Les thermopompes à air extérieur ordinaires chauffent et refroidissent, mais leur rendement en mode chauffage est faible par temps froid et elles ne mettent pas à contribution la chaleur résiduelle qui provient de l'intérieur, en hiver comme en été (apport solaire, air usé, eaux ménagères et climatiseur). Toutefois, l'on offre actuellement des thermopompes capables d'assurer le chauffage des locaux très efficacement si les sources de chaleur disponibles suffisent à la tâche (0° ou plus). Dans un bâtiment à système solaire passif, l'activité humaine, la ventilation et l'apport solaire constituent autant de sources abondantes de chaleur de faible intensité, mais sont rarement à la hauteur de la charge de chauffage du bâtiment. En recourant à diverses techniques de stockage thermique, on peut capter la chaleur et la conserver, puis l'utiliser plus tard pour chauffer les locaux ou l'eau.

Les systèmes domestiques intégrés à thermopompe et stockage thermique permettent de mieux exploiter l'énergie solaire aussi de refroidir adéquatement les locaux. Ces systèmes, généralement offerts sous forme d'ensembles, réunissent plusieurs éléments autonomes. Les fonctions suivantes sont comprises : refroidissement et chauffage des locaux, ventilation, récupération de chaleur à même l'air usé et chauffage de l'eau domestique. Ces systèmes sont moins chers à l'achat, moins chers à installer sur le plan de la main d'oeuvre et offrent un rendement énergétique supérieur.

La présente étude porte sur cinq systèmes combinés à thermopompe et stockage thermique de format résidentiel conçus pour tirer meilleur parti des apports solaires passifs et pour réaliser une rentabilité accrue. Ils ont été conçus pour maximiser le rendement thermique à l'aide d'une version modifiée du logiciel horaire détaillé ENERPASS. A l'étape de la modélisation, on a inclus un grand réservoir d'eau chaude, le stockage sur galets à circulation d'air réversible et le stockage souterrain sur glace à changement de phase, sous forme de réservoir intérieur et de stockage géothermique externe.

L'habitation-type utilisée aux fins de la modélisation était un bâtiment résidentiel de 200 m² à deux étages. L'on a testé des rapports de 7 % à 20 % entre la surface de plancher et celle des vitrages orientés vers le sud. Trois enveloppes thermiques ont été définies : une habitation "CNB" (isolée selon les normes du Code national du bâtiment), une habitation à haut rendement énergétique beaucoup mieux isolée au niveau des fenêtres et de la dalle de fondation, et enfin une maison à haut rendement énergétique à fenêtres RSI 1,25 et aire ensoleillée intégrée. L'aire en question est au premier étage, du côté sud, et comporte

la moitié des surfaces vitrées exposées au sud.

Parmi les systèmes étudiés, les combinaisons thermopompe-stockage thermique les plus efficaces sont les systèmes intégrés à stockage isolé sur glace ou stockage souterrain à changement de phase. Ils sont légèrement plus rentables que les ventilateurs à récupération de chaleur sur la base du délai de recouvrement (moins de trois ans), mais les économies directes qu'ils permettent, sur cinq ans (les coûts en capital différentiels étant compris) sont plus de deux fois plus grandes. Ces systèmes puisent la chaleur à même l'air de ventilation, les eaux ménagères et le sol, tout en utilisant les apports solaires excédentaires. C'est pourquoi leur rendement n'est pas très affecté par la variation des surfaces de captage solaire. D'autre part, ils permettent de limiter la surchauffe même lorsque le rapport vitrage-surface de plancher atteint 20 %, ce qui donne plus de latitude pour ce qui est de l'architecture.

Il est possible de récupérer en un peu plus de cinq ans le coût d'un simple système de chauffage de l'eau domestique à thermopompe puisant la chaleur dans les locaux pour compenser la perte au chauffe-eau, avec ventilateur récupérateur. Il s'agit d'un ensemble à prix modique qui permet de réaliser des économies sensibles au plan de la ventilation et du chauffage de l'eau (500 \$ par an), en plus d'aider à refroidir l'air. Ce système pourrait suffire à bien des habitations, surtout celles qui sont implantées sur des sites exposés et si les occupants veillent à la ventilation et à un certain contrôle de l'ensoleillement en été.

Il semblerait utile de mettre au point un climatiseur de modèle amélioré à thermopompe doté d'un grand réservoir d'eau tiède capable d'assurer une partie de la fonction de récupération de chaleur à même la ventilation. Si le coût de ce genre était à peu près comparable à celui des autres, on pourrait s'attendre à ce qu'il se rentabilise en quatre ans environ.

Les économies totales possibles sur cinq ans (y compris coûts différentiels) que permettraient les trois systèmes les plus prometteurs, comparativement aux systèmes traditionnels, s'établissent comme suit (électricité à 16 \$ le gigajoule, gaz naturel à 10 \$ le gigajoule) :

- chauffe-eau domestique avec VRC : 1 100 \$ (scénario de base électricité seulement)
- système domestique intégré : 1 600 \$ - 2 400 \$
- système intégré avec stockage souterrain : 2 000 \$ - 2 600 \$

La méthodologie de calcul des avantages énergétiques a été établie d'après les fiches techniques des fabricants, en fonction de conditions d'exploitation typiques. Les économies d'énergie sous soustraites de la consommation annuelle totale de chaleur (chauffage des locaux et de l'eau domestique) établie à partir

de la modélisation thermique fondée sur un système domestique traditionnel.

Dans le cas étudié, le préchauffage de l'air de ventilation par séjour dans l'aire ensoleillée intégrée d'un étage de haut fait un apport de 30 % (en général 9 GJ ou 145 \$) à l'efficacité de la récupération de chaleur, ceci en sus de la récupération de l'air d'échappement que permettrait une thermopompe consacrée exclusivement à cet usage.

La composante la plus intéressante de cette étude a été la modélisation du stockage souterrain à changement de phase d'une quantité de terre saturée ou d'une nappe aquifère artificielle en contact avec le terrain environnant. D'après les simulations numériques, les capacités de stockage annuelles optimisées de tels systèmes n'atteindraient que 8 % de la charge de chauffage annuelle totale (chauffage des locaux et de l'eau domestique). Cette méthode de stockage occupe sensiblement moins d'espace sur le terrain et permet d'opérer l'échange de chaleur en aménagement simplement un ou deux grands réservoirs solaires souterrains ou un serpentin souterrain semblable à l'appareil hélicoïdal à expansion directe mis au point par le CNRC.

La modélisation a confirmé que le perfectionnement technologique des fenêtres et l'accroissement de l'apport solaire permettent à l'architecte de concevoir de grandes surfaces vitrées orientées vers le sud sans compromettre le rendement énergétique. Plusieurs groupes thermopompe-stockage thermique peuvent régulariser la surchauffe, été comme hiver, tout en permettant d'exploiter davantage les apports solaires. Ces systèmes, lorsqu'ils s'ajoutent aux autres sources de chaleur comme la récupération au niveau de la ventilation, des eaux ménagères et du sol, deviennent fort rentables. Les essais de ces systèmes dans le réel, surtout l'essai du stockage en nappe aquifère artificielle, devraient continuer. Il conviendrait en même temps de poursuivre l'élaboration d'une procédure normalisée d'évaluation de ce genre de système et de détermination de leur capacité d'économie d'énergie.