

Die verhitting van swembaddens in Suid-Afrika: 'n Tegno- ekonomiese analise tussen hittepompe en sonverhitting

Josua P. Meyer* en Gideon P. Greyvenstein*
Potchefstroomse Universiteit vir CHO, Vanderbijlpark
(Ontvang Julie 1990)

Abstract

The heating of swimming pools in South Africa is investigated. A techno-economic comparison is made between heat pumps and solar heating. In the investigation the heat losses from different pool sizes are determined, on the basis of which, the size and cost of a heat pump or solar system for a specific swimming pool size may be determined. Hence the life-cycle cost of a heat pump heating system is calculated and compared with that of a solar heating system. This difference is calculated for all the main centres in South Africa for various conditions. It is concluded that the economical appeal of heat pumps over solar heating systems is a function of many variables.

	Simbolelys
A	swembadoppervlakte [m ²]
A _s	sonpaneelarea [m ²]
C _b	gekapitaliseerde bedryfskoste van 'n hittepomp [Rand]
C _h	kapitale uitleg van 'n hittepomp [Rand]
C _s	kapitale uitleg van 'n sonverhittingstelsel [Rand]
COP	hittepompwerkverrigtingskoëffisiënt
$\overline{\text{COP}}$	gemiddeld van al die uurlikse COP-waardes vir 'n maand
D	aantal dae in 'n maand
n	aantal maande
Q	werklike uitset van hittepomp [W]
Q _n	nominale uitset van hittepomp [W]
q _p	totale sonstraling op 'n skuins vlak (breedtegraad plus 10°) [W/m ²]
\bar{q}_p	gemiddelde waarde van q _p gedurende 'n maand [W/m ²]
$\bar{q}_{p,\text{maks}}$	waarde van \bar{q}_p vir die maand wat die verliese die hoogste is [W/m ²]
q _t	nettohitteverlies [W/m ²]
\bar{q}_t	gemiddeld van al die uurlikse q _t -waardes vir 'n maand [W/m ²]
$\bar{q}_{t,\text{maks}}$	maksimumwaarde van \bar{q}_t vir al die maande gedurende die swemseisoen [W/m ²]
r	jaarlikse rentekoers
S _j	jaarlikse koste van elektrisiteit [Rand]
S _m	maandelikse elektrisiteitskoste [Rand]
T	elektrisiteitstarief [Rand/kWh]
T _b	natboltemperatuur van lug (brontemperatuur) [°C]
T _p	gemiddelde swembadwatertemperatuur (puttemperatuur) [°C]
U	maksimum aantal ure per dag wat die hittepomp in bedryf mag wees
VL	verskil in lewensikluskoste [Rand]
z	verhouding tussen die werklike en nominale uitset, Q/Q _n

\bar{z}	gemiddelde waarde van z gedurende die maand wat die hitteverliese 'n maksimum is
η	sonpaneeleffektiwiteit

Inleiding

Vanweë Suid-Afrika se sonnige en aangename klimaat beskou huiseienaars 'n swembad as 'n noodsaaklikheid eerder as 'n luuksheid. Die meeste swembadeienaars vind egter dat die swembadwater onaanvaarbaar koud is, veral gedurende die lente en herfs wanneer buitetoestande nog baie aangenaam is. In sommige dele van Suid-Afrika is die swemseisoen tot slegs een maand beperk, wat beteken dat 'n swembad in sulke gevalle 'n baie duur belegging is. Hierdie situasie bring mee dat daar 'n groot behoefte aan swembadverhitting in Suid-Afrika bestaan.

'n Algemene metode om huishoudelike swembaddens te verwarm, is met behulp van sonverhitting. Baie woonhuise beskik egter nie oor 'n groot genoeg sonbeligte oppervlakte vir sonpanele nie. Sonpanele doen dikwels ook afbreuk aan die voorkoms van 'n huis. Die enigste ander metodes om swembaddens te verhit is deur middel van elektriese weerstandselemente, verbranding van fossielbrandstowwe en hittepompe. Wat elektriese weerstandselemente betref, benodig dit gewoonlik 'n groter stroom as wat 'n huishoudelike elektriese installasie kan hanteer. Boonop is die elektrisiteitskoste van so 'n verhittingstelsel baie hoog. Wat die verbranding van fossielbrandstowwe betref, word dit in die meeste munisipale gebiede nie toegelaat nie en is dit ook baie moeilik om so 'n stelsel te bedryf.

Die enigste ander verwarmingsmetode wat dus oorweeg kan word, is hittepompe. Hittepompe hou baie voordele in, waaronder maklike installasie, lae bedryfskoste, dit neem min ruimte in beslag, dit verskaf koue lug wat gebruik kan word vir die lugreëling van huise, en dit doen nie afbreuk aan die voorkoms van huise nie. Die doel van die huidige gedeelte is om die gangbaarheid van hittepompe vir die verhitting van huishoudelike swembaddens te ondersoek. Eerstens word die hitteverliese van swembaddens bepaal. Daarmee kan bepaal word wat die grootte van 'n hittepomp moet wees om 'n spesifieke grootte swembad te verhit en ook wat die elektrisiteitskoste sal bedra. Met hierdie gegewens kan die lewensikluskoste van 'n hittepompverwarmingsstelsel bereken

*Professor in Meganiese Ingenieurswese.
Departement Meganiese Ingenieurswese, Potchefstroomse Universiteit vir CHO.

word. Laastens word die lewensikluskoste van so 'n stelsel vergelyk met dié van 'n sonverhittingstelsel.

Swembadhitteverliese

Teoretiese metodes vir die berekening van swembadhitteverliese is deur verskeie persone beskryf [1-5]. Alhoewel die metodes ten opsigte van sekere aspekte van mekaar verskil, stem hulle in beginsel ooreen. Die hitte-oordrag tussen 'n swembad en die omgewing vind hoofsaaklik plaas deur geleiding, straling, konveksie en verdamping. Die geleiding vanaf die wande van die swembad na die omliggende grond is egter nalaatbaar klein [3-5] in vergelyking met die ander verliese ter sprake. Die berekening van die ander verliese word vervolgens kortliks bespreek.

Die stralingshitteverlies is die som van die langgolfstralingshitte-oordrag vanaf die swembadoppervlakte na die buitenste ruim, die langgolfstralingshitte-oordrag vanaf die atmosfeer na die swembadwater en die sonstraling op die horisontale oppervlakte van die swembad. Eersgenoemde word bereken met die Stefan-Boltzman-wet [6]. Die emissiwiteit van die water word aanvaar as 0,95 en dié van 'n plastiekbedekking as 0,93. Die langgolfstralingshitte-oordrag vanaf die atmosfeer na die swembadwater word bereken met behulp van die Brunt-formule [3]. Met die berekening van sonstraling op 'n horisontale oppervlakte word aanvaar dat die absorptiwiteit van water 0,9 is. Die absorptiwiteit van 'n swembad wat bedek is, word geneem as 0,5.

Vir die berekening van die konveksiehitteverlies vanaf of na 'n onbedekte swembad is die konveksiehitte-oordragkoëffisiënt bereken uit inligting wat deur Root [1] en Chinnery [3] verskaf is. Met die berekening van die koëffisiënt word windspoed en die teenwoordigheid van 'n swembadbedekking in ag geneem. Vir geval die swembad bedek is, word 'n termiese weerstand van die swembadbedekking bereken. Vir die berekening van hierdie weerstand word die dikte van die lugblasies geneem as 5 mm, terwyl die dikte van die plastiek 1 mm is. Die termiese geleidingskoëffisiënt van lug word geneem as 0,024 W/m °C en dié van plastiek as 0,08 W/m °C.

Die verdampingsverliese word bereken as die produk van die massavloei water wat verdamp en die latente hitte van verdamping van water. Die verdampingstempo vanaf 'n massa onbedekte water is bereken met 'n empiriese vergelyking wat deur Chinnery [3] voorsien is. Hierdie verge-

lyking word oor die algemeen deur hidroloë gebruik om die waterverliese van damme, mere en reservoirs te bereken. Die verdampingsverliese van 'n bedekte swembad word as nul aanvaar.

Die klimatologie veranderlikes wat met die berekening van hitteverliese gebruik word, word vanuit die ontwerpjaar-klimatologiese databasis verkry [7]. Die databasis bevat uurlikse gemiddelde waardes van sonstraling, temperatuur, windspoed en relatiewe humiditeit. Hierdie waardes kan gebruik word om die daaglikse, weeklikse of maandelikse gemiddelde nettoverliese te bereken.

Om die berekende nettoverliese te verifieer is die waardes vergelyk met maksimum nettoverliese waardes wat deur Chinnery [3] bereken is. Aangesien die berekeninge van Chinnery uitgevoer is teen 'n temperatuur van 22 °C is dieselfde temperatuur gebruik. Tabel 1 toon dan ook die maandelikse gemiddelde nettoverliese van 'n oop, onbedekte swembad teen 'n temperatuur van 22 °C by 'n aantal plekke. In Tabel 2 word die maksimum maandelikse gemiddelde nettoverliese van Tabel 1 vergelyk met die waardes wat deur Chinnery bereken is. Afgesien van Bloemfontein vergelyk die waardes aanvaarbaar. Daarom word vir die doeleindes van hierdie studie aanvaar dat die berekenings van die swembadhitteverliese voldoende akkuraat is.

Die gemiddelde maandelikse swembad watertemperatuur kan bereken word as dié waarde waarby die maandelikse gemiddelde nettoverliese nul sal wees. In Figuur 1 word die berekende gemiddelde watertemperatuur vir 'n onbedekte buitenshuise swembad sonder enige windbeskerming gegee. Indien aanvaar word dat die minimum gerieflike watertemperatuur 21 °C is, volg dit uit die resultate dat dié swemseisoen vir die meeste plekke baie kort is. Die swemseisoen wissel tussen nie eens 1 maand vir Johannesburg en 5 maande vir Durban nie. Die gemiddelde swemseisoen van al die plekke waarvoor analises gedoen is (dit is die plekke in Figuur 1 plus Alexanderbaai, Keetmanshoop en Windhoek), is ongeveer 2,5 maande.

Hittepomp- en sonpaneelgroottes

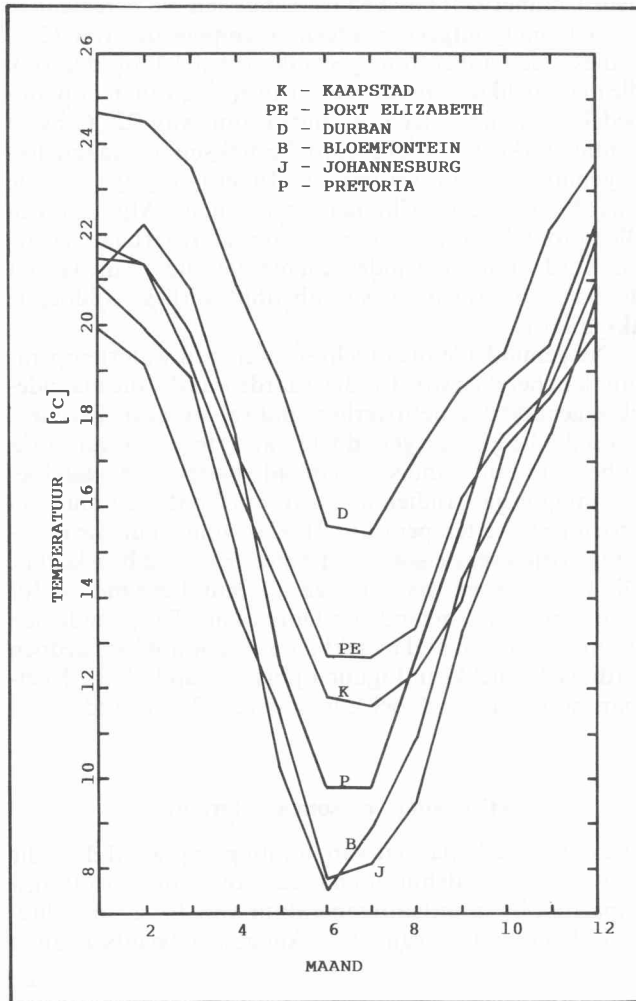
Die nominale kapasiteit van 'n hittepomp word deur die vervaardigers gedefinieer en is gewoonlik die verhittingskapasiteit by 'n uitlaattemperatuur van 30 °C en 'n lugnatboltemperatuur van 10 °C. Aangesien die uitsat van 'n

NETTOHITTEVERLIESE (Mj/dag/m ²)												
PLEK	MAAND											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kaapstad	3	3	16	23	28	35	48	47	41	21	22	15
Port Elizabeth	1	4	13	24	28	31	30	38	26	26	21	6
Durban	-13	-12	-8	4	11	21	23	19	16	16	-1	-7
Bloemfontein	5	11	13	24	43	40	34	40	30	31	9	1
Johannesburg	9	10	10	37	31	46	49	54	38	26	21	5
Pretoria	0	-1	4	12	24	34	30	30	23	13	11	-1

Tabel 1 – Maandelikse gemiddelde nettoverliese vir 'n onbedekte buitenshuise swembad met geen windbeskerming en 'n watertemperatuur van 22 °C

PLEK	Tabel 1	Chinnery [3]
Kaapstad	48	50
Port Elizabeth	38	40
Durban	23	21
Bloemfontein	43	50
Johannesburg	54	55
Pretoria	34	31

Tabel 2 – Vergelyking tussen die maksimum maandelikse gemiddelde nettoverliese (MJ/dag/m²) volgens die huidige berekeningsmetode en volgens Chinnery [3] vir 'n onbedekte swembad by 'n temperatuur van 22 °C



Figuur 1 – Gemiddelde maandelikse watertemperatuur vir die hoofsentra. Die swembad is onbedek en sonder enige windbeskerming

hittepomp 'n funksie is van die natboltemperatuur van die lug (brontemperatuur) en die temperatuur van die swembadwater (puttemperatuur) word dit gegee as

$$Q/Q_n = a_0 + a_1 T_b + a_2 T_b^2 + a_3 T_p + a_4 T_b T_p + a_5 T_p^2 \quad (1)$$

waar $a_0 = 8,36235 \times 10^{-1}$
 $a_1 = 2,91992 \times 10^{-2}$
 $a_2 = 4,76608 \times 10^{-4}$
 $a_3 = -4,7732 \times 10^{-3}$
 $a_4 = -1,5024 \times 10^{-4}$
 $a_5 = 1,28342 \times 10^{-5}$

is. Vergelyking (1) is saamgestel uit eksperimentele resultate van verskillende verskaffers van hittepompe. Die verskaffers beweer dat die resultate binne 5% akkuraat is.

Die nominale grootte van 'n hittepomp wat vir 'n swembad geselekteer word, se hitte uitset moet sodanig wees dat voorsiening gemaak word vir die maand in die jaar wat die hitteverliese uit die swembad die hoogste is ($q_{t,maks}$), sowel as die verhouding van die werklike gemiddelde hitte uitset gedurende die maand tot die nominale uitset (\bar{z}) van die hittepomp. Daarom word die nominale grootte van 'n hittepomp wat vir 'n spesifieke swembad voorgeskryf moet word bereken as:

$$Q_n = \frac{24A\bar{q}_{t,maks}}{\bar{z}U} \quad (2)$$

Om kapitale koste te bespaar en om te verseker dat 'n hittepomp nie onnodig groot is nie, word die tyd wat 'n hittepomp gedurende die koudste maand in bedryf is, gewoonlik gespesifiseer as 20 uur per dag.

Die totale area van sonpanele wat benodig word om 'n swembad mee te verhit, is

$$A_s = \frac{\bar{q}_{t,maks}A}{\bar{q}_{p,maks} \eta} \quad (3)$$

Die effektiwiteit van sonpanele [5] word geneem as 0,75.

Lewensikluskoste

'n Ekonomiese analise van 'n hittepomp- en 'n sonpaneel-verhittingsstelsel word in herdie afdeling uitgevoer. Vir die berekening van die lewensikluskoste van 'n hittepomp moet die koste van elektrisiteitgebruik van 'n hittepomp eers bepaal word.

Elektrisiteitskoste vir 'n hittepomp

Die maandelikse elektrisiteitskoste in Rand vir 'n hittepomp word gegee deur

$$S_m = \frac{24D\bar{q}_tAT}{COP} \quad (4)$$

Die elektrisiteitstarief vir verskillende munisipaliteite word in Tabel 3 gegee. Die gemiddelde hittepompwerkverrigtingskoeffisiënt vir 'n maand is bereken as die gemiddeld van al die uurlikse gemiddelde waardes oor 'n

Plek	Tarief [c/kWh]	Tarief geldigheid
Kaapstad	9,387	onbeperk
Port Elizabeth	7,696	onbeperk
Durban	18,507	tot 100 kWh
	8,207	100 tot 600 kWh
	7,403	bo 600 kWh
Bloemfontein	5,52	onbeperk
Johannesburg	9,45	onbeperk
Pretoria	9,59	tot 1 100 kWh
	4,00	bo 1 100 kWh

Tabel 3 – Elektrisiteitstariewe van verskillende munisipaliteite

betrokke maand. Die uurlikse gemiddelde waardes is bereken op grond van 'n vergelyking wat saamgestel is met behulp van hittepompwerkverrigtingskoëffisiënte van sewe sisteme wat tans op die mark beskikbaar is. Die vergelyking is

$$\text{COP} = b_0 + b_1 T_b + b_2 T_b^2 + b_3 T_p + b_4 T_b T_p + b_5 T_p^2 \quad (5)$$

waar

$$\begin{aligned} b_0 &= 5,69926 \\ b_1 &= 1,65121 \times 10^{-1} \\ b_2 &= 1,03306 \times 10^{-3} \\ b_3 &= -1,18750 \times 10^{-1} \\ b_4 &= -2,61820 \times 10^{-3} \\ b_5 &= -1,12571 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

is.

Die brontemperatuur is geneem as die uurlikse gemiddelde natboltemperatuur gedurende 'n spesifieke uur. Hierdie waarde is uit die ontwerpjaar- klimatologiese data bereken. Die puttemperatuur is die gemiddelde swembadwatertemperatuur.

Die hittepompwerkverrigtingskoëffisiënt van vergelyking (5) is vir gebruik met 'n enkelfase elektriese motor. Indien drie fase elektrisiteit gebruik word sal die koëffisiënt hoër wees as die berekende waarde van vergelyking (5). Deur vergelyking (5) dus te gebruik word verseker dat die berekende werkverrigtingskoëffisiënt konserwatief is. Verder is die waarde wat met vergelyking (5) bereken is verminder met 'n konstante waarde om die volgende redes:

- (i) Aanpakking van stof of vuilgoed op die hitteruilers kan mettertyd die werkverrigting van hittepompe nadelig beïnvloed.
- (ii) In die geval van lugbronthittepompe sal ys op die verdamer aanpak indien die inlaatlugtemperatuur te laag word. Gedurende ontysing is die hittepomp nie beskikbaar vir verhitting nie terwyl 'n energie-inset steeds benodig word om ontysing te bewerkstellig. Dit beteken 'n laer gemiddelde werkverrigtingskoëffisiënt en hitte uitset.
- (iii) Die simulasiemodel simuleer die werkverrigting van 'n hittepomp onder gestadigde toestande. 'n Hittepomp neem egter 'n tyd lank om te stabiliseer nadat dit aangeskakel word en terwyl 'n hittepomp besig is om te stabiliseer is die werkverrigtingskoëffisiënt laer as onder gestadigde toestande.
- (iv) 'n Hittepomp kan so geïnstalleer word dat die lugvloei deur die verdamer belemmer word.
- (v) Indien hersirkulasie van lug deur die verdamer plaasvind sal die temperatuur by die inlaat van die verdamer daal wat beteken dat die werkverrigtingskoëffisiënt ook sal daal.

Die afwyking van die werklike langtermyn werkverrigting van hittepompe van eksperimentele waardes wat onder gestadigde toestande in 'n laboratorium bepaal is, word deur verskeie navorsers bevestig. Dobyn en Blatt [8] rapporteer dat toetse wat op 'n groot aantal waterverhittingshittepompe in die VSA gedoen is, toon dat die langtermyn werkverrigting van sulke stelsels ongeveer 25% laer is as die vervaardigersdata vir gestadigde toestande. Metings wat deur Johannsen en Kaiser [9] op twee water-

verhittingspompe in die RSA gedoen is het getoon dat die langtermyn werkverrigtingskoëffisiënt van beide stelsels ongeveer 21% laer is as waardes wat vanaf die vervaardigersdata bepaal is.

Ten einde voorsiening te maak vir die werkverrigtingskoëffisiënt onder werklike toestande en vir een- en drie-fase elektrisiteit is besluit om vir die doeleindes van ekonomiese analises die werkverrigtingskoëffisiënt volgens die simulasiemodel met 'n konstante hoeveelheid van 20% te degradeer. Hierdie ietwat optimistiese waarde van 20% is geregverdig indien in gedagte gehou word dat soos wat ondervinding toeneem installasies beter gedoen sal word.

Ekonomiese analise

Die lewensikluskoste van 'n verhittingsapparaat is die som van die kapitale uitleg en die gekapitaliseerde bedryfskoste. Die kapitale uitleg is die som van die aankoopbedrag, algemene verkoopsbelasting en installasiekoste. Die kapitale uitleg van 'n hoë-effektiewe sonverhittingstelsel word geneem as

$$C_s = 220A_s + 357 \quad (6)$$

Vergelyking (6) is gebaseer op die billikste pryse wat van sonpaneelverskaffers in Suid-Afrika verkry kon word. Die kapitale uitleg in Rand van 'n hittepompverhittingstelsel vir swembaddens is

$$C_h = 436 Q_n + 2600 \quad (7)$$

Die kapitale uitleg is gebaseer op die pryse van 'n swembadhittepompvervaardiger wat 'n reeks van 12 groottes hittepompe vervaardig. Hierdie vervaardiger se pryse is gebruik omdat dit in lyn is met ander vervaardigers se pryse wat slegs enkele modelle vervaardig.

Daar kan met redelikheid aanvaar word dat die bedryfskoste van 'n sonverhittingstelsel nul is, terwyl dié van hittepompstelsels die elektrisiteitskoste is, wat bereken kan word met Vergelyking (4). Die gekapitaliseerde bedryfskoste van 'n hittepompstelsel word gegee deur

$$C_b = S_f \{1 - (1 + r/12)^{-n/r}\} \quad (8)$$

Die jaarlikse rentekoers word geneem as 0,2 (20%), en die aantal maande waartydens die analise gedoen word, is 120 maande.

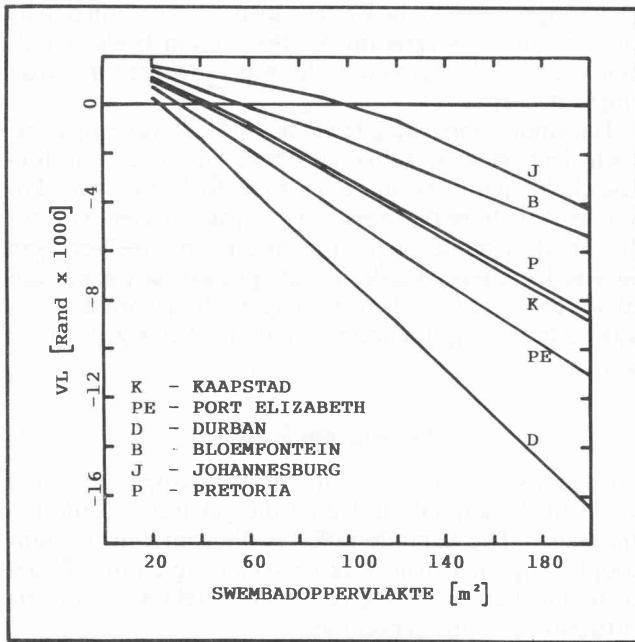
Verskil in lewensikluskoste

Die verskil in lewensikluskoste tussen 'n hittepomp en 'n sonverhittingstelsel word gegee deur

$$VL = C_h + C_b - C_s \quad (9)$$

Die verskil in lewensikluskoste is 'n aanduiding van die ekonomiese aantreklikheid van die een stelsel in vergelyking met die ander. 'n Positiewe verskil impliseer dat 'n sonverhittingstelsel meer ekonomies is as 'n hittepompstelsel, terwyl 'n negatiewe verskil die teenoorgestelde impliseer.

'n Rekenaarsimulasiemodel is geskryf om die verskil in



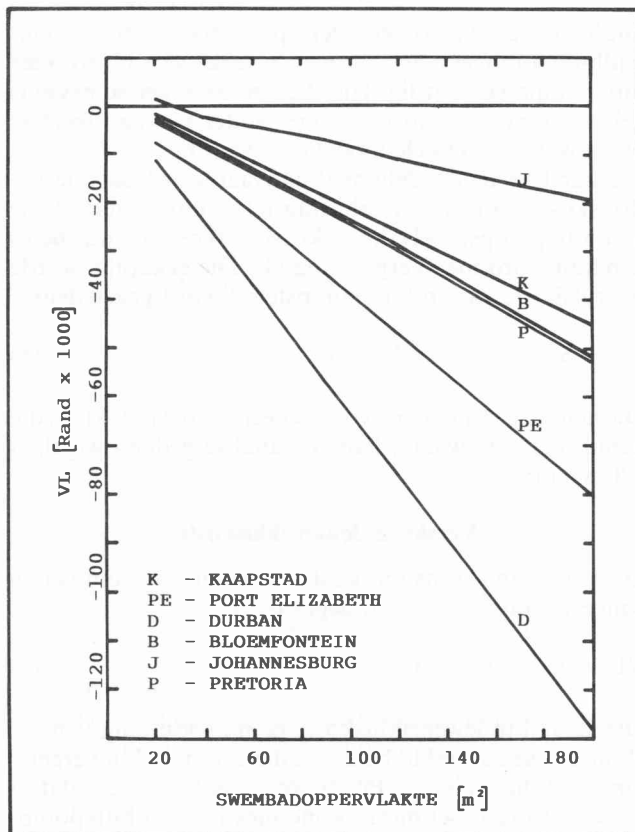
Figuur 2 – Verskil in lewensikluskoste tussen 'n hittepomp en 'n son-paneel. Die swemseisoen is 8 maande (September tot April). Die swembad is bedek, en die watertemperatuur is 30 °C

In Figuur 2 word die verskil in lewensikluskoste tussen 'n sonpaneel en 'n hittepomp gegee vir 'n watertemperatuur van 30 °C. Die resultate is vir 'n swemseisoen van agt maande (September tot April) vir 'n buitenshuise swembad wat bedek is. Uit hierdie figuur kan afgelei word dat afgesien van swembaddens van ongeveer 20 m², hittepompe besonder geskik is vir stede soos Durban, Port Elizabeth, Kaapstad en Pretoria. Vir stede soos Bloemfontein en Johannesburg is hittepompe eers goedkoper as sonverhitting wanneer die swembadoppervlakte onderskeidelik groter as 60 m² en 90 m² is.

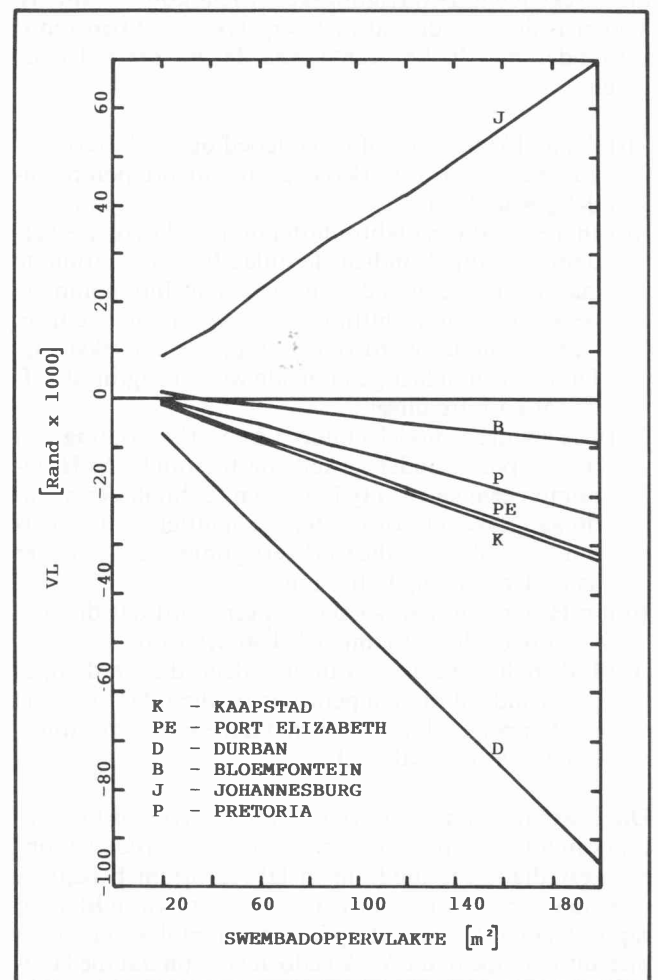
Figuur 3 toon die invloed op die lewensikluskoste indien die swembadbedekking verwyder word. Die resultate toon dat afgesien van 'n 20 m² swembad in Johannesburg, hittepompe deurgaans meer ekonomies as sonverhittingstelsels is. Indien die resultate van Figure 2 en 3 met mekaar vergelyk word, kan die gevolgtrekking gemaak word dat indien 'n swembadbedekking gebruik word die lewensikluskoste van die verhittingstelsel (en dus ook die kapitaalkoste) baie laer is as sonder 'n swembadbedekking.

Die effek indien die swemseisoen tot twaalf maande verleng word vir 'n onbedekte swembad wat teen 'n temperatuur van 30 °C gehou word, kan uit Figuur 4 afgelei

lewensikluskoste vir die hoofsentra in Suid-Afrika te bereken. Die berekening word gedoen vir swembadgroottes wat wissel tussen 20 m² en 200 m². Die resultate word in Figure 2 tot 4 getoon.



Figuur 3 – Verskil in lewensikluskoste tussen 'n hittepomp en 'n son-paneel. Die swemseisoen is 8 maande (September-April). Die swembad is onbedek, en die watertemperatuur is 30 °C



Figuur 4 – Verskil in lewensikluskoste tussen 'n hittepomp en 'n son-paneel. Die swemseisoen is 12 maande. Die swembad is onbedek, en die watertemperatuur is 30 °C

word. Afgesien van Johannesburg (alle groottes swembaddens) en Bloemfontein (vir 'n 20 m² swembad) is hittepompe deurgaans meer ekonomies as sonverhittingstelsels.

Bespreking van resultate

'n Swembadverhittingstelsel is 'n luukse apparaat, en daarom verkies mense wat sulke apparaat aankoop, gewoonlik om hulle swembaddens tot hoë temperature, in die omgewing van 28 °C tot 30 °C, te verhit. Ten einde verliese te minimaliseer om sodoende die kapitaalkoste van die verhittingstelsel laag te hou, is dit noodsaaklik om die swembad met die een of ander seil te bedek.

Die grootte van die verhittingsapparaat is ook 'n funksie van die swemseisoen, en die meeste mense verkies om die swemseisoen tot agt maande te verleng, eerder as om die swembad vir twaalf maande te verhit. In hierdie omstandighede is hittepompe meer ekonomies as sonverhittingstelsels weens 'n groot verskeidenheid faktore, soos geografiese ligging, swembadtemperatuur, swembadgrootte, swemseisoen, elektrisiteitstarief en die tipe swembad (bedek of onbedek).

Erkenning

Die ondersteuning van hierdie projek deur die Nasionale Energieraad word met dank erken.

Verwysings

1. Root, D. E., "A simplified engineering approach to swimming pool heating", *Journal of Solar Energy Science and Engineering*, Vol. 3, 1959, pp. 60-63.
2. Govind and Sodha, M. S., "Thermal model of solar swimming pools", *Energy Conversion and Management*, Vol. 23, No. 3, 1983, pp. 181-175.
3. Chinnery, D. N. W., "Heating requirements of swimming pools and the feasibility of heating domestic pools with solar energy", *Heating, Air Conditioning and Refrigeration*, Vol. 5, No. 5, May 1973, pp. 7, 9, 11, 13, 16, 21.
4. Govaer, D. and Zarmi, Y., "Analytical evaluation of direct solar heating of swimming pools", *Solar Energy*, Vol. 27, No. 6, 1981, pp. 529-533.
5. Szeicz, G. and McMonagle, R. C., "The heat balance of urban swimming pools", *Solar Energy*, Vol. 30, No. 3, 1983, pp. 247-259.
6. Kern, D. Q., "Process Heat Transfer", 21 st printing, McGraw-Hill, Tokyo, 1983.
7. Wentzel, J. D., "Design weather data; A design year", *Heating Air conditioning and Refrigeration*, May 1984, pp. 45.
8. Dobyn, J. E. and Blatt, M. H., "Heat pump water heaters", Report EM-3582, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1984.
9. Johannsen, A. and Kaiser, G., "Potential of electrically operated heat pumps for heating water in South-Africa", WNNR, Navorsingsverslag 615, Pretoria, Augustus 1986.