

Het verwarmen van baden*

18 JAN. 1974

Ir. J. Claus**

De voor de berekening van de warmteverliezen van baden beschikbare formules worden besproken. Speciale aandacht wordt besteed aan het openluchtbad waarvoor de warmte-

verliezen worden berekend en de capaciteit van de verwarmingsinstallatie wordt vastgesteld. De voor de verwarming van baden geschikte verwarmingssystemen worden vermeld. Het verwar-

mingssysteem waarbij ondergedompelde verbranding wordt toegepast wordt aan een uitgebreide beschouwing onderworpen.

1. INLEIDING

In tal van productieprocessen wordt in een of ander stadium gebruik gemaakt van verwarmde baden waarin het te vervaardigen produkt wordt behandeld.

Voorbeelden hiervan zijn galvanische en chemische baden in de metaalindustrie en verfbaden in de textielindustrie. Ook de in de voedingsmiddelenindustrie toegepaste kookketels behoren tot de categorie verwarmde baden evenals de voor de recreatie zo belangrijke zwembaden.

Voor de berekening van de voor het op temperatuur brengen en houden van het bad benodigde warmte gelden voor alle typen baden dezelfde regels.

De verwarmingssystemen waarmee de warmte wordt toegevoerd zullen echter voor de verschillende toepassingen sterk uiteen kunnen lopen.

Het gebied van de verwarmde baden is zo omvangrijk, dat een volledige behandeling in het kader van dit artikel onmogelijk is. De stof zal daarom worden beperkt tot de verwarming van zwembaden en wel in het bijzonder tot de verwarming van het openlucht zwembad omdat de berekening hiervan bijzondere problemen met zich mee brengt. Ook wat betreft de verwarmingssystemen zal een beperking noodzakelijk zijn, juist omdat het systeem waarbij gebruik wordt gemaakt van „onderwaterverbranding” de laatste tijd sterk in de belangstelling staat, zal aan de eigenschappen en toepasbaarheid van dit type verwarming speciale aandacht worden besteed.

2. DE CAPACITEIT VAN DE VERWARMING

De capaciteit van een verwarmingsinstallatie voor baden wordt doorgaans bepaald door de eisen die aan de tijd, waarin het bad de werktemperatuur moet hebben bereikt, worden gesteld. Bij openluchtbaden speelt ook het tijdstip waarop met opwarmen wordt begonnen een belangrijke rol. Voor de berekening van de voor de opwarming benodigde capaciteit is het noodzakelijk dat alle verliesposten die het bad heeft, bekend zijn.

De warmteverliezen van een bad ontstaan door:

- verdamping van badvloeistof aan het badoppervlak;
- convectieve warmte-overdracht aan het badoppervlak;
- stralingsverliezen van het badoppervlak;
- warmtegeleiding door de wanden en de bodem van het bad;
- opwarmen van de suppletievloeistof;
- opwarmen van de lading;
- warmte-ontwikkeling op behoefte tijdens het proces.

2.1 Verdamping van badvloeistof aan het badoppervlak

Voor het berekenen van de warmteverliezen door de verdamping van water kan de volgende formule worden gebruikt (1):

$$q_v = r (25 + 19 V) (x'' - x')$$

De belangrijkste onbekende in de formule is de luchtsnelheid over het badoppervlak (V). Deze zal sterk afhangen van de wijze waarop de ruimte boven een bad wordt geventileerd. Voor openlucht zwembaden is het al of niet beschut liggen van grote invloed op de grootte van V .

De in het maandelijks overzicht der weersgesteldheid van het KNMI opgegeven windsnelheid is herleid tot 6 m boven het basisvlak (bij De Bilt op 17,5 m hoogte). Deze waarde moet voor gebruik in een berekening weer worden herleid tot een snelheid boven het wateroppervlak.

Braak (2) kwam op basis van metingen tot de conclusie dat voor een onbeschutte ligging de snelheid boven het water uit de opgegeven snelheid kon worden berekend door deze met een factor 0,18 te vermenigvuldigen. Deze factor stemt goed overeen met de door Rouvel (3) aangehouden factor 0,2. Uiteraard zal bij een zeer geringe ventilatie of een zeer beschutte ligging van een bad in de berekening $V = 0$ moeten worden genomen.

2.2 Convectieve warmte-overdracht aan het badoppervlak

Uit de analogie tussen stofoverdracht en warmte-overdracht volgt voor de berekening van de convectieve warmte-overdracht dat:

$$q_c = C_p (25 + 19 V) (\theta_w - \theta_l)$$

2.3 Stralingsverliezen van het badoppervlak

Een badoppervlak straalt warmte uit en ontvangt straling uit de omgeving. Het netto-stralingsverlies bedraagt:

* Lezing gehouden op de 33e Vakantieleergang voor Warmtetechniek op 25 augustus 1971 te Utrecht.

** Centraal Technisch Instituut TNO, afd. Warmte- en Koudetechniek.

$$q_s = q_u - q_i$$

voor een bad met een temperatuur T_b K in een omgeving met een temperatuur T_l K en rekening houdend met een reflectiecoëfficiënt van 0.02 wordt:

$$q_s = 0.98 \sigma (T_b^4 - T_l^4)$$

bij een openluchtbad dient ook de globale straling ($q_{glob.}$) en de tegenstraling (q_t) in rekening te worden gebracht. De globale straling is opgegeven in het overzicht der weersgesteldheid van het KNMI, de tegenstraling kan wanneer de waterdampdruk bekend is worden berekend met de formule:

$$q_t = 0.98 \sigma T_l^4 (0.607 + 0.178 \log e)$$

de warmteverliezen door straling van een openluchtbad volgen dan uit:

$$q_s = 0.98 \sigma (T_b^4 - (0.607 + 0.178 \log e) T_l^4) + q_{glob.}$$

2.4 Warmtegeleiding door de wanden en de bodem van het bad

Wanneer de samenstelling en de afmetingen van de wanden van een bad bekend zijn, dan kunnen de warmteverliezen per m^2 badoppervlak worden berekend met de formule:

$$q_g = a \frac{\lambda}{d} (\theta_b - \theta_o)$$

2.5 Overige verliezen

Algemene formules voor de berekening van de verliezen door proceswarmte, suppletievloeistof en dergelijke worden niet gegeven omdat deze berekening sterk afhangt van de bedrijfsvoering en het soort proces.

2.6 Het opwarmen van het bad

Bij het opwarmen van een bad zullen bij een stijgende badtemperatuur de warmteverliezen toenemen. Voor een tijdstip t kan de volgende warmtebalans worden opgesteld:

$$B \frac{d\theta}{dt} + Q_v = Q$$

Uit een berekening van de warmteverliezen van een open bad als functie van de bassintemperatuur blijkt, dat deze verliezen goed kunnen worden benaderd met de formule:

$$Q_v = a + b\theta$$

Uit deze twee vergelijkingen volgt dat:

$$\theta_t = \frac{Q-a}{b} + (\theta_o + \frac{Q-a}{b}) e^{-\frac{b}{B}t}$$

Voor een bassin van $50 \times 22 \times 2 \text{ m}^3$ inhoud en een 30 cm dikke betonnen wand bedraagt de waterwaarde $96 \text{ GJ/}^\circ\text{K}$ ($2.300.000 \text{ kcal/}^\circ\text{C}$). In *afb. 1* is voor een dergelijk bassin het verloop van de temperatuur met de tijd als functie van de netto-verwarmingscapaciteit weergegeven. De berekende krommen gelden voor een onbeschermd gelegen bassin, voor een begintijdstip 15 mei en een in de omgeving van De Bilt gelegen zwembad.

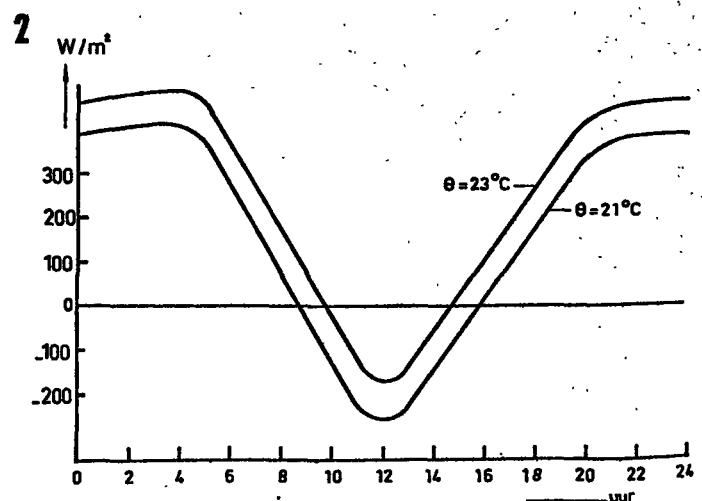
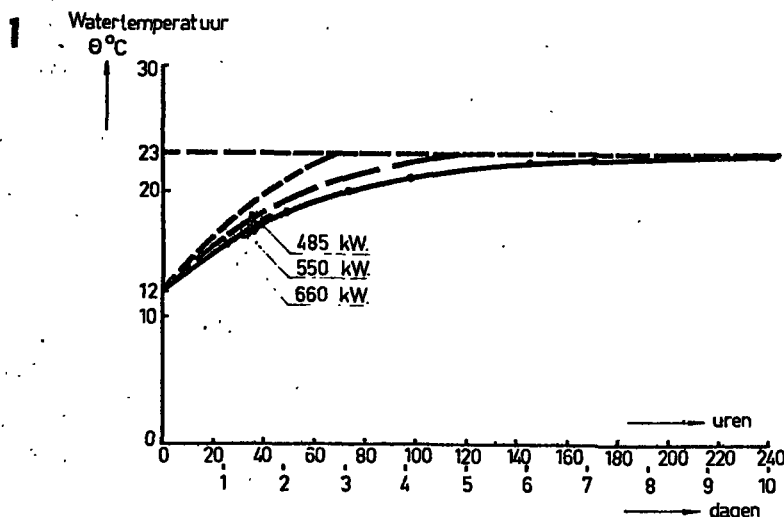
Voor een verwarming die ten tijde van het opwarmen juist voldoende capaciteit heeft om de stationaire verliezen te dekken (cap. 485 kW) (415.000 kcal/h) bedraagt de tijd tot dat de gewenste eindtemperatuur van 23°C is bereikt 10 dagen.

Hierbij moet opgemerkt worden dat na 3 dagen de watertemperatuur reeds zodanig is toegenomen (tot 20°C) dat met zwemmen kan worden begonnen. De opwarmtijd kan aanzienlijk worden bekort door de capaciteit van de verwarmingsinstallatie groter te kiezen.

In de tabel is de netto-capaciteit van de verwarmingsinstallatie van een open bad weergegeven. Ook deze waarden gelden voor een op een onbeschutte plaats gelegen bad. Bij een goed beschutte ligging zal voor eenzelfde opwarmtijd en opwarmtijdstip de benodigde capaciteit 20 à 30 % lager kunnen zijn.

3. WARMTEVERBRUIK VAN DE INSTALLATIE

Een van de belangrijkste vragen die bij de exploitatieberekening van een zwembad naar voren komt, is de vraag hoeveel brandstof zal moeten worden verstoekt om het water naar behoren te kunnen verwarmen. Hiervoor is het niet voldoende om de verliezen die bij een constante temperatuur van het bassinwater optreden te berekenen. Dit uit-



gangspunt houdt namelijk in dat ook gedurende de nacht de watertemperatuur op bij voorbeeld 23 °C wordt gehouden en dat, ondanks de in de zomermaanden sterke zonnestraling, de watertemperatuur ook overdag niet boven 23 °C zal stijgen.

Dit laatste zal in sommige gevallen slechts te verwezenlijken zijn door het bassin overdag te koelen, aangezien dit uiteraard niet zinvol is, zal, wanneer de warmtetoevoer voor een gemiddelde temperatuur van 23 °C is berekend, voor die dagen waarop overdag de warmtetoevoer door straling de overige verliezen overtreft tijdelijk een hogere temperatuur dan 23 °C optreden.

Het hangt van de gevolgde stookwijze af of dit inderdaad voor zal komen of dat, door het tijds uitschakelen van de verwarmingsinstallatie, de temperatuur in de loop van de dag niet boven de 23 °C zal stijgen. In het laatste geval betekent dit dat de gemiddelde watertemperatuur over de gehele dag genomen lager zal zijn dan 23 °C.

In het volgende voorbeeld zal het hier besprokene worden toegelicht. Voor een gemiddelde dag in de maand juli is het berekende warmteverlies van een bassin in **afb. 2** uitgezet als functie van de tijd. Hieraan is te zien dat bij een bassintemperatuur van 23 °C, van 9.45 tot 14.45 uur het verlies negatief is, doordat de warmtewinst door straling de overige warmteverliezen overtreft. Gedurende deze periode zal het bassinwater dus door de omgeving worden opgewarmd. Gaan we er nu van uit dat de maximum-watertemperatuur 23 °C mag bedragen, dan betekent dit dat 's middags om 14.45 uur deze temperatuur zal moeten zijn bereikt gedeeltelijk door opwarming van het bassinwater door straling uit de omgeving, gedeeltelijk door extra warmtetoevoer via de verwarmingsinstallatie.

Aangezien we gedurende het grootste gedeelte van de dag de temperatuur zo dicht mogelijk bij 23 °C willen hebben zal 's morgens de temperatuur door bijverwarming zo hoog moeten zijn geworden dat met de overdag toegevoerde warmte de max.-temperatuur 23 °C wordt. Met opwarmen van het bassin moet dus op een zodanig tijdstip worden begonnen dat op het moment dat de warmteverliezen juist nul zijn de watertemperatuur hoog genoeg is geworden om met behulp van de warmte die daarna uit de omgeving wordt toegevoerd de maximum-temperatuur van 23 °C te bereiken.

Op basis van dit stookschema is het verloop van de gemid-

delde watertemperatuur van het bassin berekend voor een installatie met een netto-capaciteit van 600 kW (520.000 kcal/h) en 720 kW (620.000 kcal/h) (vergelijk de tabel (**afb. 3**).

Hierin is te zien dat voor het verkrijgen van een maximum-temperatuur van 23 °C de installatie van 600 kW (520.000 kcal/h) van 23.30 tot 9.15 uur moet draaien en de installatie van 720 kW (620.000 kcal/h) van 1.15 tot 9.15 uur.

Dit betekent dat met de installatie van 720 kW (620.000 kcal/h) minder brandstof wordt verstookt, de reden hiervoor is dat, doordat een grotere capaciteit ter beschikking staat, de afkoeling van het water verder door zal kunnen zetten waardoor de warmteverliezen geringer zijn. De berekening is gemaakt voor de voorwaarde dat de maximum-temperatuur 23 °C zou zijn. Voor andere voorwaarden zal de berekening moeten worden verhaald.

Het behandelde voorbeeld illustreert, dat de berekening van het warmteverbruik sterk wordt beïnvloed door de gevolgde stookwijze.

4. VERWARMINGSSYSTEMEN

4.1 Algemeen

Zoals in de inleiding is gesteld, zal in het kader van dit artikel speciale aandacht worden geschonken aan de verwarming van zwembaden. De beschouwing van de verschillende verwarmingssystemen zal in de meeste gevallen beperkt blijven tot een beschrijving van het systeem.

Enkele systemen zullen iets uitvoeriger worden behandeld. Een vergelijking van de kosten of tussen gas en olie als brandstof zal niet worden gemaakt, omdat hierbij van geval tot geval verschillende overwegingen een rol kunnen spelen.

In zwembaden wordt doorgaans een indirect verwarmings-systeem toegepast d.w.z. de badvloeistof wordt via een buiten het bad geplaatste warmtewisselaar of ketel opgewarmd. Deze wijze van verwarming maakt het mogelijk om op eenvoudige wijze in het rondpompsysteem het badwater ook te filteren en/of te conditioneren.

Door het juist kiezen van de plaatsen van de in- en uitstroomopeningen van het verwarmingssysteem in het bad, kan de stroming van de badvloeistof door het bad worden beïnvloed en een goede doorstroming en verversing worden bevorderd.

1. Verloop van de badtemperatuur tijdens het opwarmen

Tabel I — Netto-capaciteit badverwarming kW (kcal/h)

Tijdsduur opwarmen in dagen	Beginseizoen 1 mei		Beginseizoen 15 mei	
	Watertemperatuur 23 °C	Watertemperatuur 20 °C	Watertemperatuur 23 °C	Watertemperatuur 20 °C
3	720 (620.000)	535 (460.000)	660 (570.000)	475 (410.000)
5	600 (520.000)	435 (375.000)	550 (470.000)	380 (325.000)
10	540 (465.000)	400 (340.000)	485 (415.000)	340 (290.000)

2. Warmteverliezen gedurende de dag

4.2 Indirecte verwarming met behulp van een ketel of tegenstroom warmtewisselaar

Deze wijze van verwarming wordt zeer veel toegepast. Naast de gebruikelijke combinatie ketel-tegenstroom warmtewisselaar worden ook ketels toegepast waarin een doorstroomverhitter is opgenomen.

Afb. 4 is een voorbeeld van een dergelijke installatie. Installaties van dit type zijn geschikt voor het stoken van olie en gas en zullen vooral worden toegepast waar naast het verwarmen van het bassinwater ook de verwarming van gebouwen en sporthallen e.d. moet worden verzorgd.

Het systeem is conventioneel zodat een nadere beschouwing achterwege kan blijven.

4.3 Elektrische verwarming

Normaal gesproken zal elektrische verwarming uitsluitend in aanmerking komen voor zeer kleine baden. Van een recent in Duitsland ontwikkeld systeem voor elektrische badverwarming geeft afb. 5 een voorbeeld.

Bij dit verwarmingssysteem worden elektrische verhittingskabels in de wanden van het zwembassin aangebracht. Dit is mogelijk doordat bij de bouw van het bassin gebruik wordt gemaakt van speciale bouwelementen waarin gaten zijn uitgespaard. Naast de bekende voordelen van elektriciteit (goed regelbaar, hoog rendement en geen vervuiling) is een voordeel dat bij dit systeem van het goedkope nachttarief gebruik kan worden gemaakt. De wanden van het zwembassin en het water zelf fungeren dan als warmte-accumulator waardoor overdag nagenoeg geen verwarming meer plaats behoeft te vinden.

4.4 Warmtepomp

Wanneer een bad op een ten opzichte van de omgeving relatief lage temperatuur moet worden gehouden, kan het toepassen van de warmtepomp worden overwogen. Aan deze voorwaarde is bij een zwembad voldaan. Het toepassen van de warmtepomp voor zwembadverwarming dient dan ook serieus te worden overwogen. In Duitsland zijn al op diverse plaatsen zwembaden met dit verwarmingssysteem uitgerust (4) (5) (6). Het principe van de verwarming met behulp van de warmtepomp is weergegeven in afb. 6. De het meest in aanmerking komende warmtebron is stromend oppervlaktewater. Uiteraard zal de beoordeling van de toepasbaarheid afhangen van economische overwegingen.

4.5 Dompelvlampijpbranders

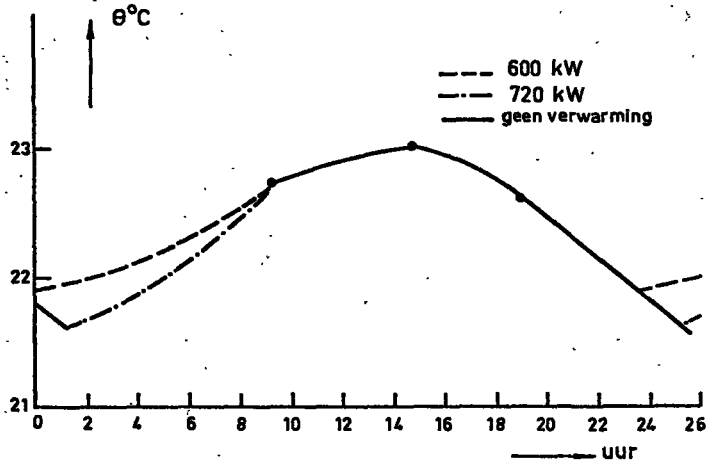
Bij dit systeem worden de rookgassen die bij de verbranding ontstaan direct door een in het bad geplaatste vlampijp gevoerd. De wandtemperatuur van de veelal tot spiralen gewonden pijpen is te hoog om in zwembaden directe verwarming mogelijk te maken. Ook bij andere toepassingen zal er op moeten worden gelet dat de wandtemperatuur van de verwarmingsspiraal niet boven de voor de badvloei-stof toelaatbare waarde uitkomt. Afb. 7 geeft een voorbeeld van dit systeem.

Voordelen van dit systeem zijn, dat de constructie aangepast kan worden aan de afmetingen van het bad, en dat een tijdelijke overbelasting bij voorbeeld ten behoeve van het opwarmen van het bad mogelijk is.

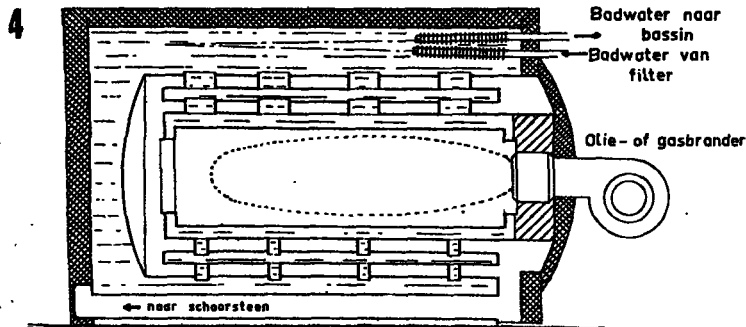
4.6 Onderwaterverbranding

Een verwarmingssysteem met zeer aparte mogelijkheden

3 watertemperatuur

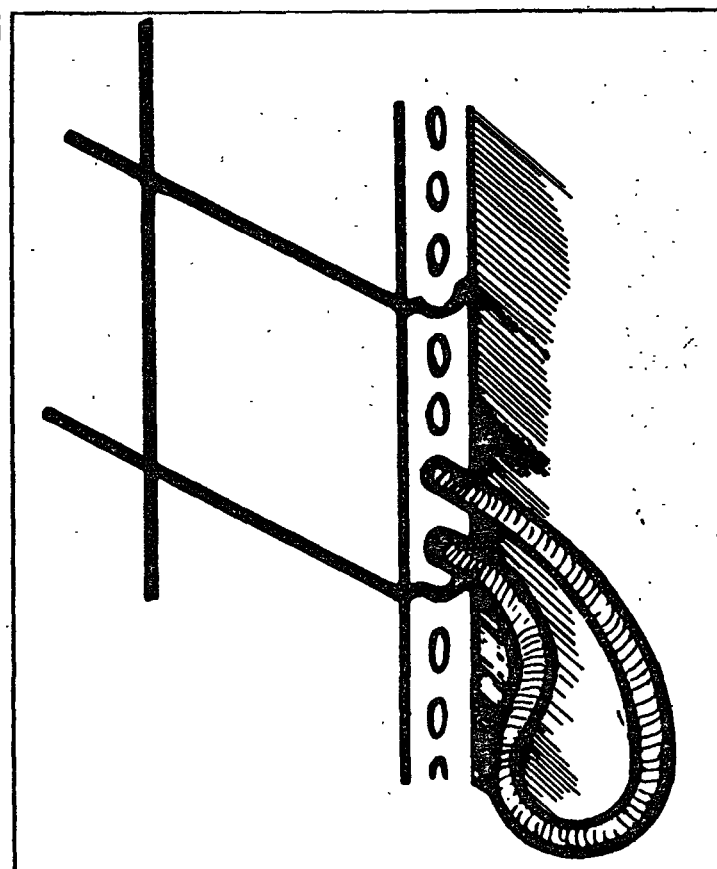


3. Temperatuurverloop van het badwater



4. Centrale verwarmingsketel met doorstroomverhitter

5



5. Elektrische verwarming van bassinwand met speciale bouwelementen

is het systeem waarbij de zogenaamde onderwaterverbranding wordt toegepast. Bij dit systeem bevindt zich in of gescheiden van het te verwarmen bad een gas- of oliebrander waaraan de verbrandingslucht onder een zodanige voor-
druk wordt toegevoerd, dat de badvloeistof uit de verbrandingskamer kan worden gedrukt. Wanneer dit is gebeurd kan d.m.v. de ontsteking de verbranding van de olie of het gas tot stand worden gebracht.

De verbranding vindt plaats in de verbrandingskamer die aan de buitenzijde door de badvloeistof wordt gekoeld. De rookgassen verlaten aan het uiteinde van de horizontaal of verticaal opgestelde brander de verbrandingskamer en „borrelen” door het bad naar het bassinoppervlak. Hierdoor is er een zeer goede warmte-overdracht tussen het rookgas en de te verwarmen vloeistof. Het rendement van deze branders is zeer hoog omdat gebruik kan worden gemaakt van de condensatiewarmte die in de waterdamp van de rookgassen aanwezig is. Betrokken op de stookwaarde zal het rendement zelfs meer dan 100 % kunnen bedragen.

Het is duidelijk dat onderwaterverbranding alleen dan voor directe verwarming kan worden toegepast wanneer de in het rookgas aanwezige gassen geen nadelige invloed op de badsamenstelling hebben. Voor het verkrijgen van een goed rendement is het nodig dat de brander zodanig diep in het te verwarmen bad wordt geplaatst, dat de bellen die bij het uitstromen uit de brander ontstaan, tot de badtemperatuur kunnen afkoelen en dat de badtemperatuur beneden het dauwpunt van de rookgassen ligt.

De theorie over de onderwaterverbranding is in de literatuur beschreven in een aantal publikaties (7) (8) (9).

Voor de volledigheid zij hier kort geresumeerd hoe het me-

chanisme van de verwarming d.m.v. onderwaterverbranding is, omdat op grond hiervan de toepassingsgebieden duidelijk zullen kunnen worden afgebakend.

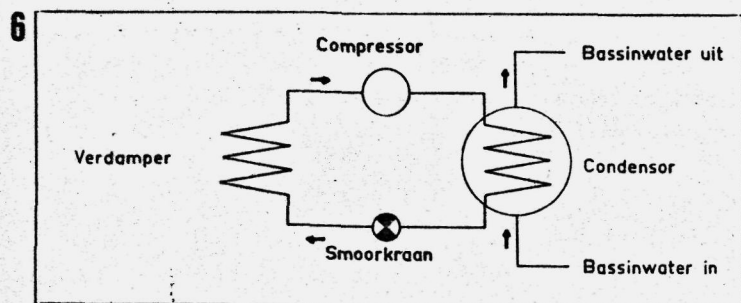
Bij het binnenstromen van het rookgas in het bad zullen zich bellen gaan vormen die door warmte-overdracht warmte afstaan naar de badinhoud. De grootte van de bellen kan onder meer worden beïnvloed door de constructie van de uitstroomopening. Des te kleiner de bellen des te groter het totale contact oppervlak gas-water en des te beter de warmte-overdracht. De afkoeltijd van de bellen, die ongeveer omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de straal van de bel, is bij kleine bellen het kortste.

Wanneer de warme bellen in de „koude” vloeistof komen zullen ze zeer snel in temperatuur dalen. Bij een badtemperatuur beneden het dauwpunt van de rookgassen zal condensatie van de door de verbranding ontstane waterdamp plaatsvinden.

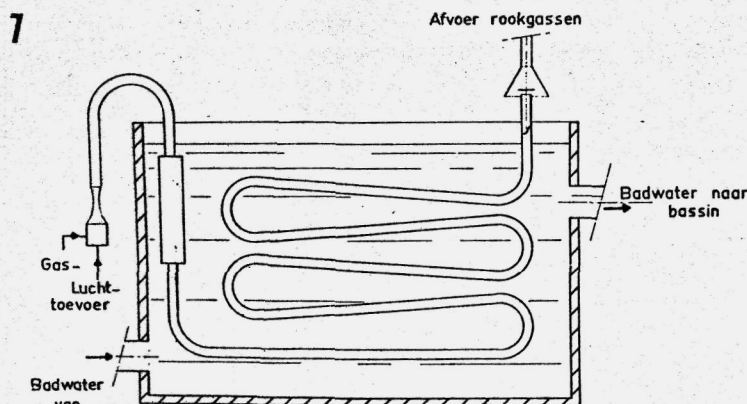
De latente warmte van het rookgas wordt dan gedeeltelijk benut. In welke mate dit geschiedt hangt af van de temperatuur van het bad. Wanneer de badtemperatuur boven het dauwpunt van de rookgassen ligt, zal verdamping van badwater optreden waardoor warmte aan het bassin wordt onttrokken.

In dat geval is er wanneer althans het verwarmen van het bad het doel is, geen sprake meer van een rendement dat groter is dan 100 % en zal men er zelfs voor moeten oppassen dat het rendement niet te veel daalt.

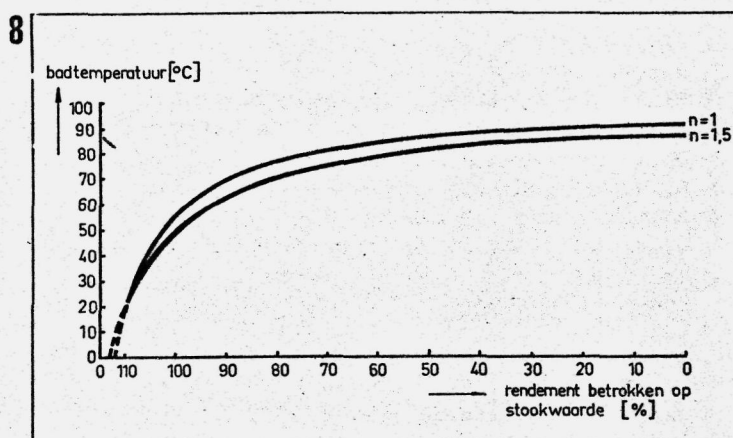
In **afb. 8** is het rendement van een onderwaterverbrandingssysteem voor de verwarming van water uitgezet, tegen de temperatuur van het water. De brandstof waarvoor de berekening is gemaakt is Gronings aardgas. Onder rende-



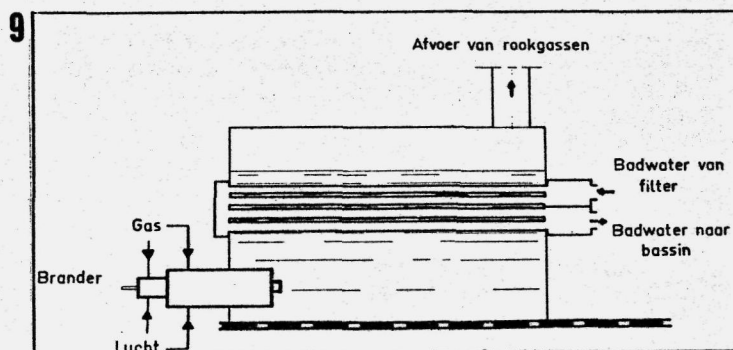
6. Warmtepomp



7. Dompelvlampijbrander



8. Verloop van het rendement met de badtemperatuur



9. Warmwatergenerator

ment wordt in dit geval verstaan de hoeveelheid warmte die uiteindelijk beschikbaar is voor het opvangen van de warmteverliezen van het bassin.

De maximum-watertemperatuur die bij verbranding met de theoretische luchthoeveelheid kan worden bereikt (rendement 0 %) bedraagt 91 °C. In dit geval wordt alle warmte die in het bad wordt gebracht benut voor het verdampen van water dat met de rookgassen het bad verlaat. Wanneer het rookgasvolume per nm³ aardgas toeneemt doordat met luchtvermaat wordt gestookt, zal per nm³ gas meer water kunnen verdampen voordat in het rookgas de partiële dampspanning van de waterdamp maximaal is. Het rendement daalt dus bij groter wordende luchtvermaat. Dit is in afb. 8 duidelijk te zien. Een goede afstelling van de brander is dus zeker in dit geval buitengewoon belangrijk.

Uit het voorgaande zal het duidelijk zijn dat de onderwaterverbranding, indien toegepast voor verwarmingsdoeleinden, juist bij lage bassintemperatuur aantrekkelijk wordt. Dit is het geval bij de verwarming van zwembaden waarvan de temperatuur, gemeten naar de huidige maatstaven ca. 24 °C moet bedragen.

In het algemeen zal het minder wenselijk zijn om de brander direct in het te verwarmen bassin aan te brengen. Het is beter bij zwembaden het principe van de onderwaterverbranding toe te passen in een direct systeem. Hierbij wordt de te verwarmen badvloeistof door een warmtewisselaar gevoerd die in een tweede bad is geplaatst dat door middel van onderwaterverbranding wordt verwarmd.

Afb. 9 geeft een voorbeeld van een dergelijk systeem waarvan verschillende uitvoeringen op de markt verkrijgbaar zijn. Door de indirecte wijze van verwarming zal het rendement van dit systeem lager zijn dan van het direct verwarmde

bad.

De voordelen zijn echter, dat het systeem gemakkelijk in het circulatiesysteem van een zwembad kan worden ingebouwd, dat de rookgassen niet met het bassinwater in aanraking komen en dat nadelen zoals rookgassen boven het bassin en slechte watercirculatie niet optreden.

Door de compacte bouw van de installatie zal een verwarmingsapparaat van dit type bijzonder aantrekkelijk zijn voor die gevallen waarin eerst in een later stadium tot het verwarmen van een zwembad wordt besloten omdat dan veelal de voor het installeren van een verwarming beschikbare ruimte zeer beperkt is.

In de warmtewisselaar van dit soort apparaten wordt het water ca. 10 °C opgewarmd. Bij een temperatuurverschil tussen badwater en verwarmd reservoir van 20 °C zal de temperatuur in het primair bassin dus plm. 50 °C bedragen.

Uit afb. 8 volgt dan, dat het rendement van de installatie betrokken op de stookwaarde bij 20 % luchtvermaat ca. 101 % bedraagt. Door het sterk teruglopen van het rendement bij hogere reservoirtemperaturen en de betrekkelijk lage maximum-temperatuur die uiteindelijk kan worden bereikt, is dit systeem niet aantrekkelijk voor de centrale verwarming van gebouwen e.d. De toepassing ligt dan ook vooral in de verwarming van zwembaden.

Voor badtemperaturen boven het dauwpunt van de rookgassen wordt het toepassen van ondergedompelde verbranding minder aantrekkelijk, tenzij het juist de bedoeling is om veel water te verdampen. Dit is bij voorbeeld het geval bij het indampen van zoutoplossingen. In dat geval zal het „rendement” van het proces echter op geheel andere maatstaven berusten.

LITERATUUR

- (1) Recknagel-Sprenger
Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik.
- (2) Braak Dr. C.
Het klimaat van Nederland E Verdamping.
Mededelingen en Verhandelingen KNMI No. 39.
- (3) Rouvel L.
Schema zur Ermittlung des Energieverbrauchs und der Heizleistung für beheizte Freischwimmbäder.
Brennstoff-Wärme-Kraft 22 (1970) 8 pp. 401-406.
- (4) Lederer E.
Die Heizung des Badewassers mit Wärmepumpe im Donau-Freibad Ulm-Neuulm.
Archiv des Badewesens 20 (1967) pp. 358-359.
- (5) Kuhn H. and P. Lilsdorf
Die Wärmepumpe als Heizung für Schwimmbecken.
Energie 21 (1969) 4 pp. 117-123.
- (6) Ann.
Einsatz der Wärmepumpe zur Aufheizung von Schwimmbecken unter vier verschiedene Betriebsbedingungen.
Archiv des Badewesens 21 (1968) pp. 53-54.
- (7) Kurz G.
Tauchbrenner
Verfahrenstechn. 2 (1968) nr. 9 pp. 374-378.
- (8) v. d. Held E. F. M. en H. A. Leniger
Onderwaterverbranding en toepassingen daarvan.
De Ingenieur 62 (1950) nr. 26 ch. 35-ch. 39.
- (9) Udijma P. G. and T. A. Kolach
Hydrodynamics and heat transfer in submerged combustion apparatus.
Brit. Chem. Eng. 11 (1966) nr. 2 pp. 106-109.

SYMBOLENLIJST

a	verhouding wandoppervlak/wateroppervlak	
b	constante	
B	waterwaarden zwembassin	J./°K
Cp	soortelijke warmte van vochtige lucht	J./kg °K
d	dikte bassinwand	m
e	waterdampdruk	mbar
q _c	warmteverlies door convectie	kW/m ²
q _g	warmteverlies door geleiding	kW/m ²
q _{glob}	globale straling	kW/m ²
q _s	warmteverlies door straling	kW/m ²
q _t	tegenstraling	kW/m ²
q _u	uitstraling	kW/m ²
q _v	warmteverlies door verdamping	kW/m ²
Q	warmtetoevoer	kW
Q _v	warmteverliezen	kW
r	verdampingswarmte	J./kg
t	tijd	h.
T _l	luchttemperatuur	°K
T _b	badtemperatuur	°K
V	luchtsnelheid boven wateroppervlak	m/s
x''	abs. vochtigheid van verzadigde lucht bij de watertemperatuur	
x'	abs. vochtigheid van de lucht	
σ	Stephan Boltzmann constante	kW/m ² °K
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt badwand	kW/m °C
τ	temperatuur	°C
τ _l	luchttemperatuur	°C
τ _w	watertemperatuur	°C