



Simbassängers uppvärmning och energiförbrukning

Wiktor Tallberg

Lärdomsprov

Energi- och miljöteknik

2023

Lärdomsprov

Wiktor Tallberg

Simbassängers uppvärmning och energiförbrukning

Yrkeshögskolan Arcada: Energi- och miljöteknik, 2023.

Identifikationsnummer:

8616

Uppdragsgivare:

Nibe Energy Systems Oy

Sammandrag:

Detta arbete handlar om energiförbrukningen och uppvärmningen av simbassänger i Finland. Syftet med arbetet är att presentera olika uppvärmningsmetoder för simbassänger utomhus i Finland och beskriva olika faktorer som påverkar bassängens värmeförluster. I arbetet presentera kort olika metoder att värma en simbassäng och undersöka vad som leder till värmeförluster i en bassäng och slutligen göra exempelberäkningar på värmeförlusterna för en specifik bassäng. Företaget NIBE Energy Systems Oy beställde arbetet och var intresserat att veta hur stora värmeförlusterna egentligen är i en simbassäng och med hjälp av resultaten optimera värmedimensioneringarna i framtiden. Arbetet fokuseras enbart på simbassänger som befinner sig utomhus och är i Finland. Arbetet antar att temperaturen i bassängen kommer att ligga mellan 25 och 30 °C. Resultaten från exempelberäkningen kommer att vara riktgivande och kan skilja sig från verkligheten. För att få ett mera pålitligt resultat borde man jämföra flera simbassänger av olika konstruktioner.

Nyckelord:

NIBE Energy Systems Oy, Simbassäng, uppvärmning, värmepump, simbassängsisolering

Degree Thesis

Wiktor Tallberg

Simbassängers uppvärmning och energiförbrukning

Arcada University of Applied Sciences: Energy and environmental engineering, 2023.

Identification number:

8616

Commissioned by:

Nibe Energy Systems Oy

Abstract:

This thesis deals with swimming pool heating and the impact of insulation on energy consumption. The purpose of the work is to briefly present different methods of heating a swimming pool and to examine what leads to heat losses in a swimming pool and finally to make an example calculation of the heat losses of the pool. The company NIBE Energy Systems Oy commissioned the work and was interested in knowing the actual amount of heat loss in a swimming pool and using the results to optimize the heating dimensions in the future. The work presents different methods of heating a swimming pool. The work also includes calculation of the total heat losses of a swimming pool bed and how to reduce them. The work focuses only on outdoor swimming pools in Finland. The temperature of the pool is assumed to be between 25 and 30 °C. The results of the example heat loss calculation are indicative and may differ from reality. To get a more reliable result, several swimming pools of different designs should be compared.

Keywords:

NIBE Energy Systems Oy, Swimming pool, heating, heat pump, swimming pool insulation

Innehållsförteckning

Sammandrag	1
Storheter och förkortningar	5
Förord	7
1 Inledning	8
1.1 Syfte och metod.....	8
1.2 Frågeställningar och hypoteser.....	8
1.3 Avgränsningar.....	8
1.4 Struktur.....	9
1.5 NIBE.....	9
2 Energiteknisk teori.....	10
2.1 Värmeöverföringsmodell för en simbassäng.....	10
2.2 Värmeförlust genom avdunstning.....	11
2.3 Värmeförlust på grund ledning.....	12
2.4 Värmeförlust på grund av konvektion.....	13
2.5 Värmeförlust på grund av strålning.....	14
2.6 Värmeförlust för en konstruktion.....	15
2.7 Värmeförlust på grund av påfyllning.....	16
2.8 Värme från solen och GHI värde.....	17
2.9 Värmebehov.....	17
2.10 Mollierdiagram för fuktig luft.....	18
2.11 Uppvärmning av vattenmassa.....	20
3 Värmepump.....	21
3.1 Värmefaktor (COP)	23
3.2 Kompressor.....	23
3.3 Kondensor.....	23
3.4 Expansionsventilen.....	23
3.5 Förångare.....	24
4 Olika metoder att värma upp en bassäng.....	24
4.1 Direkt el.....	24
4.2 Luft-vattenvärmepump.....	24
4.3 Jordvärme.....	25

4.4	Solfångare.....	26
4.5	Vedpanna.....	28
4.6	NIBEs värmedimensionering för en simbassäng.....	29
4.7	Passiva metoder för uppvärmning av en simbassäng.....	30
5	Bassängskydd och isoleringens inverkan.....	30
5.1	Bassängtak.....	30
5.2	Bassängtäcke.....	31
5.3	Lamelltäcke.....	32
6	Energiberäkningar för en praktisk simbassäng.....	32
6.1	Förluster på grund av förångning.....	34
6.2	Förluster på grund av ledning.....	35
6.3	Förluster på grund av konvektion.....	35
6.4	Förluster på grund av strålning.....	36
6.5	Förluster på grund av påfyllning.....	36
6.1	Värmetillskott från solen.....	37
6.2	Slutsats.....	37
	Diskussion och slutsats.....	38
7	Källor.....	40

Figur 1.	Värmeledning i ett materialsikte enligt Fouriers lag, (Cengel, 2015)	13
Figur 2.	Värmeöverföring via konvektion, (Cengel, 2015)	14
Figur 3.	Mollierdiagram för fuktig luft, (DocFactory Studio, 2018)	20
Figur 4.	Värmepumpens funktioner, (Greenmatch, 2023).....	22
Figur 5.	NIBE – Polar S2125 luft-vattenvärmepump, (nibe, 2023).....	25
Figur 6.	Nibe jordvärmepump S1255, (Nibe 2023)	26
Figur 7.	Solfångare för simbassänger, (Solar Pool Heating for Hotter Swimming Pools, 2022)	27
Figur 8.	Vedpanna för en simbassäng, (Kylpytynnyrin Kamina Arctic 35 KW, 2023)	29
Figur 9.	Ett pooltak är ett effektivt sätt att minska på värmeförluster, (Spa o Bad, 2023)	31
Figur 10.	Bassängtäcke (Spa o Bad, 2023)	31
Figur 11.	Mollierdiagram för luftfuktighet, (the engineering toolbox, 2014).....	33
Figur 12.	Ångtrycket för vatten vid olika temperaturer, (The Engineering Toolbox, 2014)	34

Storheter och förkortningar

A_p	Simbassängens yta (m ²)
A_s	Yta för värmeledning till mark (m ²)
C	En konstant i tabell 1 (W/(m ² · Pa))
C_c	Moln faktor (-)
C_s	Markens specifika värmekapacitet (J/(kg·K))
C_w	Vattnets specifika värme (J/(kg·K))
d	En konstant i tabell 1 (W·s/(m ³ · Pa))
G_s	Solinstrålning (kWh/m ²)
h_{cv}	Värmeöverföringskoefficient för konvektion (W/(m ² · K))
h_e	Värmeöverföringskoefficient för förångning (W/(m ² · K))
k	Värmeledningsförmåga (W/(m·K))
k_s	Markens värmeledningsförmåga (W/(m·K))
L_s	Längden för en bassäng vid beräkning av värmeförlust på grund av ledning
m_{rf}	Massflöde av påfyllning av färskvatten (kg/s)
p_a	Partiellt ångtryck för den omgivande luften (Pa)
p_s	Mättat ångtryck vid vattenytan (Pa)
Q_{cn}	Värmeförlust genom ledning (W)
Q_{cv}	Värmeförlust genom konvektion (W)
Q_e	Värmeförlust genom avdunstning (W)
Q_r	Värmeförlust genom strålning (W)
Q_{rf}	Värmeförlust vid påfyllning av vatten (W)
Q_s	Värmen från solen (W)
$\dot{Q}$	dimensionslös ledningsförmåga (-)
R	Materialsiktens värmeisoleringsförmåga
R_a	Relativ luftfuktighet (%)
R_{si}	Värmeövergångsmotstånd på innersidan
R_{se}	Värmeövergångsmotstånd på yttersidan
R_t	Värmeövergångsmotstånd totalt
T_a	Temperatur på omgivande luft (°C)
T_{dew}	Daggpunktstemperatur (°C)
T_p	Vattentemperatur i bassängen (°C)
T_{rf}	Påfyllda vattnets temperatur (°C)
T_s	Markens temperatur (°C)

T_{sky}	Himlens temperatur (°C)
T_{surf}	övre yttemperatur för den omgivande miljön (°C)
T_w	Yttemperaturen på vattnet i bassängen (°C)
t	Tid (s)
V_p	Volymen av bassängen (m³)
w_a	Vindhastighet parallellt till vattnets yta (m/s)
X	Avstånd under markytan (m)
Z	En konstant i tabell 1 (-)
ϵ_w	Vattnets emissivitet (-)
ρ_s	Markens densitet (kg/m³)
ρ_w	Vattnets densitet (kg/m³)
σ_{io}	en konstant för att skilja mellan inne bassänger och ute bassänger (-)
σ_s	Stefan-Boltzmanns konstant (kW/(m²·K⁴))

Förkortningar

COP	Coefficient Of Performance
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance

Förord

Detta examensarbete om energiförbrukningen och uppvärmningen av simbassänger i Finland är resultatet av en idé från min kollega Markus Olander, som är ansvarig för produktutveckling på Nibe Energy Systems Oy. Syftet med arbetet är att reda ut och beräkna förlusterna för en simbassäng och hur isoleringen påverkar energiförbrukningen. Jag vill tacka Markus och alla andra kollegor på Nibe Energy Systems Oy som har hjälpt mig under mina studier och kämpat mig framåt.

Arbetet beskriver hur man räknar ut värmeförlusterna för en simbassäng och ger förslag på hur man skulle kunna förbättra energieffektiviteten i bassängen.

I Helsingfors den 18.12.2023
Wiktor Tallberg

1 Inledning

Att värma upp en simbassäng kan vara en stor kostnadsfråga, särskilt då energi prisen kan variera högt från dag till dag. Priset på elektricitet påverkar också konsumenternas sätt att tänka på hur man borde värma upp en simbassäng och hur man skulle kunna göra det mera kostnadseffektivt. En bassäng som har låga förluster är en direkt besparing på kostnader. Det är också en fråga om egen preferens att värma upp bassängen till lämplig temperatur.

Det finns stora skillnader i olika värmekällor och isoleringsmaterial och att välja rätt är inte alltid en självklarhet. Det är viktigt att identifiera varifrån förlusterna kommer och hur man kan påverka på dem. En investering kan snabbt betala sig tillbaka då man använder sig av en värmepump i stället för till exempel att värma med ett elmotstånd eller om man beslutar att använda ett tunt bassängskydd ovanpå vattenytan minskar man drastiskt på värmeförlusterna som kommer via avdunstning i stället för att lämna det öppet.

1.1 Syfte och metod

Syftet med detta examensarbete är att presentera olika uppvärmningsmetoder för simbassänger utomhus i Finland och beskriva olika faktorer som påverkar bassängens värmeförluster samt att laga en teoretisk beräkning på förlusterna.

1.2 Frågeställningar och hypoteser

För konsumenten är det viktigt att hitta en balans mellan kostnaderna och energieffektiviteten för en simbassäng. Hypotesen är att största värmeförlusterna kommer att uppkomma då vattnet avdunstar eller då man hamnar ersätta vatten som redan har avdunstat och temperaturen på tillagda vattnet är svalare än det ursprungliga vattnet. En självklarhet är att uppvärmning med en värmepump alltid är mera energieffektivt än att värma till exempel med ett el motstånd.

1.3 Avgränsningar

I arbetet fokuseras enbart på simbassänger som är anpassade för klimatet i Finland. Alla simbassänger är också utomhus. Vi utgår från att temperaturen i simbassängen kommer att vara mellan 25 och 30 °C.

1.4 Struktur

I början finns det en kort inledning om företaget NIBE Energy Systems Oy. Efter detta ingår en kort redogörelse för formler för energiförbrukning och värmeförluster via avdunstning. Detta följs av olika metoder det finns att värma en simbassäng och hur en bassäng kan isoleras. Slutligen jämförs dimensioneringen av isoleringsmaterial och hur det påverkar värmeförlusten.

1.5 NIBE

Företaget är ursprungligen grundat i Sverige år 1949 av Nils Bernerup i Sösdal, Småland. Ursprungliga namnet på företaget var Backer-Elektro värme och de började med tillverkning av varmvattenberedaren och så småningom förflytta sig mot värmepumpar och andra värme relaterade produkter. Idag har NIBE vuxit till en global koncern med en stark tyngdpunkt på hållbara energilösningar. Produkter varierar allt från små värmepumpar för mindre fastigheter till större produkter för industriändamål. Namnet NIBE kommer från Nils Bernerups två första bokstäver i förnamnet och de två första i efternamnet. (nibe.se, 2023)

2 Energiteknisk teori

Värmeöverföring innebär att värmeenergin transporteras mellan två olika kroppar. Detta sker på grund av temperaturskillnader i kropparna. Värme kan endast transporteras från varmare till ett kallare medium. Värmeöverföring kan ske på tre olika sätt, ledning, konvektion och strålning. När värmen flödar genom en plan vägg sker överföringen antingen via konvektion eller ledning. (Värmeöverföring — Jernkontorets energihandbok, 2014)

Värmeöverföring via ledning sker i fasta, flytande eller gasformiga medier. Det som sker i ledning är att partiklar i det medium som har högre temperatur har också högre rörelseenergi. Denna energi kan överföras till närliggande partiklar med lägre temperatur och mindre rörelseenergi. (Värmeöverföring — Jernkontorets energihandbok, 2014)

2.1 Värmeöverföringsmodell för en simbassäng

En värmeöverföringsmodell för simbassänger är ett grundläggande krav för att undersöka effektiviteten på uppvärmningssystem för simbassängen. Modellen innehåller bland annat värme från solen och värmeförlust genom avdunstning, konvektion, ledning, strålning och påfyllning av vatten. Den matematiska formeln för denna modell har presenterats i studierna av Ruiz och Martínez (2010) och Woolley et al. (2011), och kan uttrycks som följande:

$$\rho_w \cdot c_w \cdot V_P \cdot \frac{dT_p}{dt} = \sigma_{io} \cdot \dot{Q}_s - \dot{Q}_e - \dot{Q}_{cv} - \dot{Q}_{cn} - \dot{Q}_r - \dot{Q}_{ref}$$

där ρ_w och c_w är vattnets densitet respektive specifika värmekapacitet, V_P och T_p är poolens volym respektive vattnets temperatur i bassängen, σ_{io} är en konstant för att skilja mellan inne och utebassänger. För inne bassänger är σ_{io} 0 och för utebassänger är konstanten 1. $\dot{Q}_s$ är värmen man har fått från solen. $\dot{Q}_e$, $\dot{Q}_{cv}$, $\dot{Q}_{cn}$, $\dot{Q}_r$ och $\dot{Q}_{ref}$ är värmeförlusten från avdunstning, konvektion, ledning, strålning respektive påfyllning av vatten och t representerar tiden. I formeln antar vi att V_P är en konstant som vi reglerar med att påfylla vatten med jämna mellanrum $\dot{Q}_{ref}$. (Li et al., 2020)

2.2 Värmeförlust genom avdunstning

Avdunstning är en naturlig process där vatten går från en vätska till ett gasformigt tillstånd. I en simbassäng är avdunstning en viktig faktor att beakta eftersom det påverkar vattennivån i bassängen. När vattnet värms i simbassängen, kommer det att avdunsta till luften omkring den. Detta gör att vattenmängden i bassängen minskar och det är viktigt att regelbundet lägga till mer vatten för att upprätthålla en optimal vattennivå.

Faktorer som påverkar avdunstningshastigheten i en simbassäng inkluderar temperaturen på vattnet och luften, luftfuktigheten och vindhastigheten. När temperaturen på vattnet är hög, kommer det att avdunsta snabbare jämfört med när temperaturen är lägre. På samma sätt, när luftfuktigheten är låg och vindhastigheten är hög, kommer det att finnas en högre avdunstningshastighet.

För att minska avdunstningen i en simbassäng finns det flera åtgärder man kan vidta. En av dem är att täcka bassängen med en vattentät täckning, som hjälper till att bevara vattnet i bassängen. Detta kommer också att hjälpa till att hålla vattnet renare och undvika föroreningar.

Värmeförlust genom förångning ($\dot{Q}_e$) orsakas då vattnet i simbassängen omvandlas från vätska till en gas. Beräkning av $\dot{Q}_e$ för en utebassäng använder vi en halvempirisk korrelation som inkluderar ångtrycksskillnaden och skillnaden i förångnings värmeöverföringskoefficienten (Ruiz and Martínez 2010):

$$\dot{Q}_e = h_e \cdot A_p \cdot (p_s - p_a)$$

där p_s är det mättade ångtrycket vid vattenytan, p_a är det partiella ångtrycket i omgivande luft, och h_e representerar värmeöverföringskoefficienten för avdunstning som betraktas som den empirisk funktion av vindhastigheten, avbildad av följande ekvation:

$$h_e = c + d \cdot w_a^z$$

där c , d och z är de faktorer som identifierats av olika forskare, sammanfattade i tabellen under. w_a står för vindhastigheten parallellt med vattenytan. (Li et al., 2020)

Tabell 1. Olika uppsättningar av faktorer för den avdunstande värmeöverföringskoefficienten

Författare	c (W/(m ² · Pa))	d (W·s/(m ³ · Pa))	z (—)
Rohwer (1931)	0,0850	0,0580	1
McMillan (1971)	0,0360	0,0250	1
Richter (1979)	0,0423	0,0565	0,5
Smith et al. (1994)	0,0638	0,0669	1
ISO TC 180 (1995)	0,0506	0,0669	1
ASHRAE (2003)	0,0890	0,0782	1

2.3 Värmeförlust på grund ledning

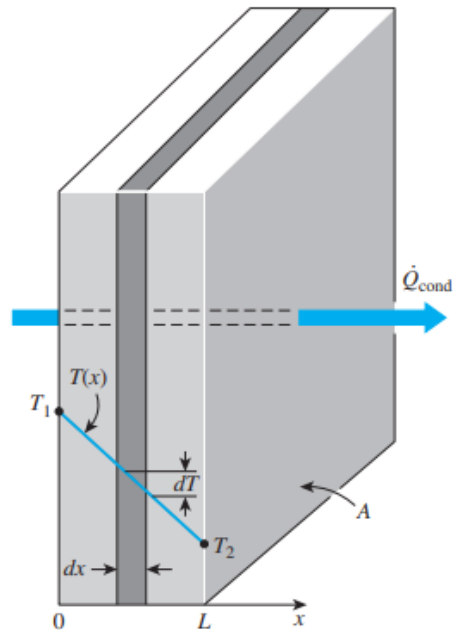
Den konduktiva värmeförlusten (Q_{cn}) beror huvudsakligen på temperaturskillnaden mellan vattnet i simbassängen och marken. Många studier har visat att Q_{cn} är så liten i den totala värmeförlusten för simbassängen att den kan borträknas. Dock har Govaer och Zami (1981) rapporterat att Q_{cn} i vissa fall bör beaktas, till exempel när det finns fuktig mark eller vattenrörelser under ytan, vilket kan leda till en betydande ökning värmeförlust via ledning. De gav följande ekvation för att räkna ut markens temperaturprofil:

$$\rho_s \cdot c_s \cdot \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s \cdot \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2}$$

där ρ_s , c_s , k_s och T_s representerar densitet, specifika värme, värmeledningsförmåga samt markens temperatur och x representerar avståndet under marken. Dessutom baserar man på antagandet att T_s hålls som oförändrad, kan Q_{cn} beräknas genom:

$$\dot{Q}_{cn} = \frac{1}{2L_s} \cdot Q_s \cdot k_s \cdot A_s \cdot (T_p - T_s)$$

där L_s är bassängens längd, $\dot{Q}_s$ är den dimensionslösa ledningsvärmehastigheten som kan beräknas med hjälp av formfaktorer (Bergman et al. 2011), och A_s representerar ytan för ledning till marken. (Li et al., 2020)



Figur 1. Värmeledning i ett materialsikte enligt Fouriers lag, (Cengel, 2015)

2.4 Värmeförlust på grund av konvektion

När en gas eller en vätska strömmar förbi en yta och det uppstår värmeutbyte kallas det för konvektion. Ett exempel på detta är att i en bastu som är 80°C kommer den varma luften att avge värme till huden. Värmeöverföringen genom konvektion i bastun är låg, och därför kan man vistas i bastun relativt långa tider utan att bli ”överhettad”. Kroppstemperaturen kommer ändå att sakta stiga hela tiden. (Värmeöverföring — Jernkontorets energihandbok, 2014)

Den konvektiva värmeförlusten ($\dot{Q}_{cv}$) orsakas av värmeöverföringen från rörelsen av poolvatten och den omgivande luft. Den beräknas utgående från temperaturskillnaden mellan vattenytan och den omgivande luften och kan uttryckas på följande sätt: (Li et al., 2020)

$$\dot{Q}_{cv} = h_{cv} \cdot A_p \cdot (T_p - T_a)$$

där h_{cv} är beräknats med hjälp av följande empiriska ekvationer:

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0 \cdot w_a \text{ (Lam and Chan 2001)}$$

$$h_{cv} = 3.1 + 4.1 \cdot w_a \text{ (Ruiz and Martínez 2010)}$$

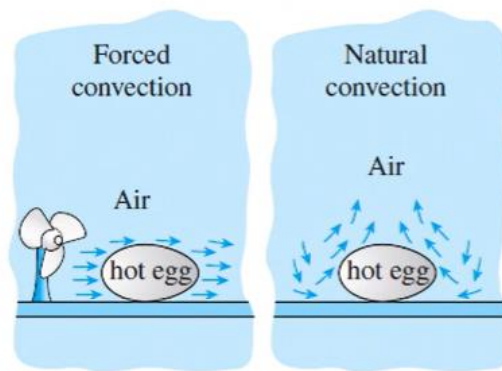
T_a är temperaturen på omgivande luften ($^{\circ}\text{C}$)

T_p är temperaturen på vattnet i simbassängen ($^{\circ}\text{C}$)

w_a är vindens hastighet parallellt till vattnets yta (m/s)

Då värmeöverföringen sker från en fast vägg till en vätska eller gas sker det genom konvektion. Största delen av temperaturförändringen sker i ett tunt lager närmast väggen. Hur tunt detta lager är beror på flera faktorer som till exempel vätskans/gasens egenskaper, väggens form, ytmaterial, ytegenskaper, area och värmeövergångskoefficienten.

(Värmeöverföring — Jernkontorets energihandbok, 2014)



Figur 2. Värmeöverföring via konvektion, (Cengel, 2015)

2.5 Värmeförlust på grund av strålning

Värmestrålning är elektromagnetisk strålning som sker i ett specifikt våglängdsintervall. Energin överförs med ljusets hastighet. Värmestrålning strålas från alla kroppar som har en temperatur över den absoluta nollpunkten ($-273,15^{\circ}\text{C}$).

Värmeförlusten via strålning ($\dot{Q}_r$) orsakas av värmeöverföringen mellan poolvatten och den övre ytan av den omgivande miljön genom långvågig strålning. Den uttrycks som följande:

$$\dot{Q}_r = A_p \cdot \varepsilon_w \cdot \sigma_s \cdot ((T_p + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4)$$

där ε_w representerar vattnets emissivitet, σ_s är Stefan-Boltzmanns konstant, som är $5,6703 \cdot 10^{-8} (W/m^2K^4)$ och T_{surf} är den övre yttemperaturen i den omgivande miljön. T_{sky} himlens temperatur som kan beräknas med hjälp av korrelationerna i tabell under. T_{dew} är daggpunktstemperaturen, ε_s är himlens emissivitet, och C_c är molnighetsfaktorn.

Tabell 2. olika korrelationer för T_{sky} .

Referens	Korrelationer
Smith et al. 1994	$T_{sky} = (T_a + 273) \cdot (0,8 + T_{dew}/250)^{0,25} - 273$
Ruiz and Martínez (Buonomano et al. 2015)	$T_{sky} = (T_a + 273) \cdot (\varepsilon_s + 0,8 \cdot (1 - \varepsilon_s) \cdot c_c)^{0,25} - 273$
Woolley et al. 2011	$T_{sky} = (T_a + 273) \cdot \varepsilon_s^{0,25} - 273$

2.6 Värmeförlust för en konstruktion

R-värdet anger ett materialsvikts värmeisoleringsförmåga, vilket ofta anges som isolerings värde. Enheten för värmeisolering är m^2K/W . Värmemotstånd är ett mått på värmeresistansen hos ett material. En högre siffra indikerar på en bättre prestanda. (Raushan, Ahern and Norton, 2022)

U-värden mäter hur effektivt en konstruktion fungerar som isolator. Värmegenomgångskoefficient är hastigheten för överföring av värme genom en struktur som kan bestå av ett eller flera material, dividerat med skillnaden i temperatur över den strukturen. Måttenheten är W/m^2K . Ju bättre isolerad en konstruktion är, desto lägre blir U-värdet. Om isoleringen är dåligt monterad, med luckor och köldbryggor, kan värmegenomsläppligheten bli betydligt högre än önskat. (Raushan, Ahern and Norton, 2022)

Den grundläggande U-värdeberäkningen är relativt enkel. I huvudsak kan U-värdet beräknas genom att summera de termiska resistanserna för varje material som utgör byggelementet i fråga. Förutom materialmotstånden har även de inre och yttre ytorna motstånd som måste läggas till. Då får vi R_T som utgör väggens totala värmemotstånd från omgivningen till omgivningen. Formeln för R_T ser ut på följande sätt: (Raushan, Ahern and Norton, 2022)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_{se}$$

där:

$R_{si} + R_{se}$ är summan av övergångsmotstånd på inner- och yttersidan.

$R_1 + R_2 + R_3 + R_m$ är materialens värmemotstånd

Formeln för materialens värmemotstånd blir enligt följande:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

där:

d är materialets tjocklek i meter, m

λ är materialets värmekonduktivitet

Formel för U-värde ser ut på följande sätt:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

där:

U = Värmegenomgångskoefficient

R_T = Den totala värme motstånden

(tillämpad byggnadsfysik, 2018)

2.7 Värmeförlust på grund av påfyllning

Påfyllningsvattnets värmeförlust ($\dot{Q}_{ref}$) orsakas av temperaturskillnaden mellan vattnet i simbassängen och det påfyllda färskvattnet. Det färska vattnet krävs för att fylla på poolen, eftersom simbassängsvattnet går förlorat genom avdunstning och dränering. $\dot{Q}_{ref}$ uttrycks som:

$$\dot{Q}_{ref} = c_w \cdot m_{rf} \cdot (T_p - T_{rf})$$

där T_{rf} representerar temperaturen hos det påfyllda färskvattnet vatten; och m_{rf} representerar massflödes hastigheten påfyllda färskvattnet. I studien av Buonomano et al. (2015) var T_{rf} konstant vid 15 °C. Värdet för m_{rf} kan variera från plats till plats men en manual för en simbassäng visade att bestämmelserna i Ontario Kanada angav att för varje simmare per dag skall man fylla på 20-liter färskvatten i bassängen, och den maximala vattenvolymen vid påfyllning vara 15 % av poolens volym. (Li et al., 2020)

2.8 Värme från solen och GHI värde

Den termiska solenergin kan absorberas rakt av simbassängen och kan uttryckas med Q_s och formeln är:

$$Q_s = \alpha_s \cdot G_s \cdot A_p$$

där G_s betecknar solinstrålningen och α_s betecknar solabsorptionsförmåga, som antas vara 0,85 i studierna av Lam och Chan (2001) och Ruiz och Martínez (2010).

Den strålning som når jordytan kan beskrivas på ett antal olika sätt. Global horisontell irradians (GHI) är den totala mängden kortvågig strålning som tas emot ovanifrån av en yta som är horisontell mot marken. Detta värde är av särskilt intresse för solcellsinstallationer och inkluderar både direkt normal irradians (DNI) och diffus horisontell irradians (DIF).

DNI är solstrålning som kommer i en rak linje från solens riktning vid dess aktuella position på himlen. DIF är solstrålning som inte kommer på en direkt väg från solen, utan har spridits av molekyler och partiklar i atmosfären och kommer lika mycket från alla riktningar. (Li et al., 2020)

2.9 Värmebehov

Värmebehovet för en simbassäng påverkas av flera faktorer. Faktorer som har en inverkan på värmebehovet är bland annat det geografiska läget för simbassängen, ute temperaturen som varierar beroende på årstiden, mängden isolering man har använt, simbassängens storlek och en personlig preferens på temperaturen av vattnet i bassängen.

Vi behöver mera värme om simbassängen befinner sig i norr, i Sodankylä jämfört med att om bassängen skulle finnas i Helsingfors. Detta beror på att klimatet är i medeltal betydligt svalare i Sodankylä än det är i Helsingfors. Den årliga medeltemperaturen i Sodankylä ligger kring 0,3 °C jämfört med Helsingfors som var 6,5 °C. Mängden värmetillskott från solen kommer också att vara lägre ju högre norr man går.

Dessa faktorer ökar värmebehovet för att upprätthålla en konstant temperatur i simbassängen (Ilmatiete-enlaitos, 2021)

Det är rätt så vanligt att man vill värma simbassängen året runt. För att spara på uppvärmningskostnader i det långa loppet, är det en kostnadseffektiv idé att isolera simbassängen mot kyla. En simbassäng kräver mindre energi för att upprätthålla samma temperatur då det är varmt på sommaren, jämfört med vintern.

Kroppstemperaturen på en människa är normalt kring 37°C och vår trivseltemperatur ligger på omkring 23°C för luften. Vatten, som är en bättre ledare av värme jämfört med luft, svalt vid samma temperatur. På basis av undersökning har det kommit fram att de flesta människor känner att en behaglig badtemperatur för en simbassäng är mellan $25 - 28^{\circ}\text{C}$. (Giovanisci, 2019), (Vardhandboken.se, 2021)

2.10 Mollierdiagram för fuktig luft

Ett mollierdiagram är ett grafiskt verktyg inom termodynamik för att visualisera egenskaper som entalpi och entropi för vattenånga. Diagrammet används främst inom områden som kraftproduktion och kylteknik för att analysera och optimera ångprocesser och cykler. Det ger en översikt över hur termodynamiska egenskaper varierar vid olika faser och processer, vilket underlättar för ingenjörer att designa och förstå ångrelaterade system.

Från ett mollierdiagram för fuktig luft kan vi tolka följande saker:

Fuktig luft: Fuktig luft är en blandning av torr luft och vattenånga och absolut torr luft finns inte utan det ingår alltid en viss andel vattenånga.

Temperatur: Denna mäts med termometer och anges antingen som grader Celsius, Fahrenheit eller i Kelvin. I regel mäts den så kallade torra temperaturen i den vertikala skalan i Mollierdiagrammet.

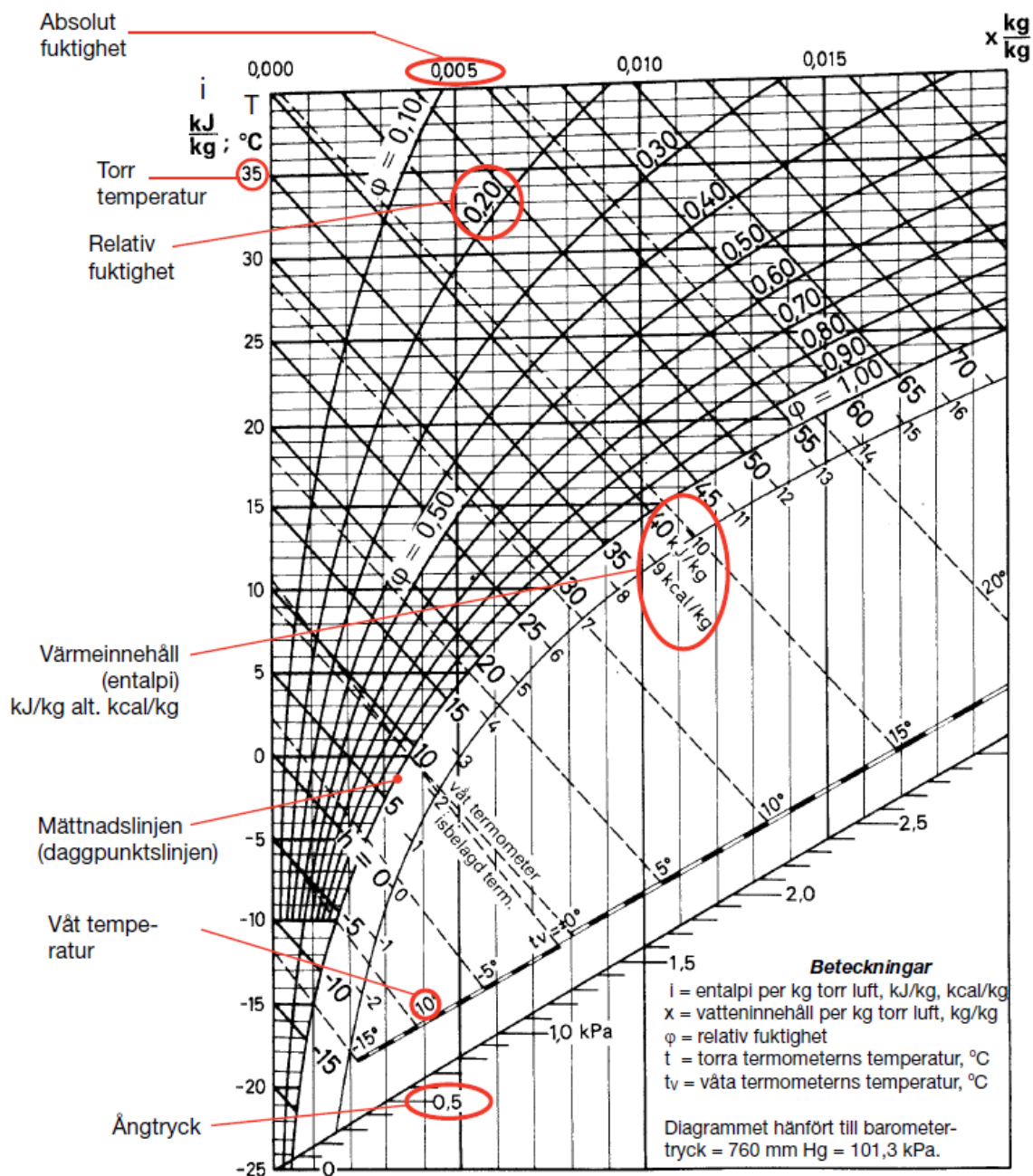
Absoluta fuktighet: Med absolut fuktighet menar man den vattenmängd i kilogram som finns per kilogram torr luft. Absoluta fuktigheten mäts i den horisontella axeln i diagrammet. Luftens möjlighet att innehålla vatten minskar med temperaturen.

Relativ fuktighet: anger hur mycket fukt luften innehåller i förhållande till den maximala möjliga fukt-mängden vid en viss temperatur. Till exempel om den relativa fuktigheten är 20 % betyder det att vattenångan i luften har ett tryck som är 20 % av vattenångans mättnadstryck vid en viss temperatur. Den relativa fuktigheten visas i form av kurvor i diagrammet.

Mättnadslinjen: Linjen för 100 % relativ fuktighet kallas för mättnadslinjen. Det är där kondenseringen eller alternativt isbildningen börjar. En punkt på mättnadslinjen ger det högsta fuktinnehållet vid en viss temperatur. Punkten kallas för daggpunkt och innebär att den torra och den våta temperaturen har samma värde.

Entalpi: I diagrammet kan också luftens värmeinnehåll avläsas i kJ/kg luft. Detta kallas också för entalpi. Entalpin är angiven med räta linjer vilka går snett ner till höger i diagrammet, nästan parallellt med luftens våta temperatur.

Vattenångans mättnadstryck: Under linjen för våt temperatur kan vattenångans mättnadstryck avläsas i kPa. Trycket bestäms enbart av luftens vatteninnehåll. (Moist Air - the Mollier Diagram, 2023)



Figur 3. Mollierdiagram för fuktig luft, (DocFactory Studio, 2018)

2.11 Uppvärmning av vattenmassa

Konstanten för vattnets specifika värmekapacitet är $4,18 \text{ kJ}(\text{kg}\cdot\text{K})$. För att höja ett gram vatten med 1 grad krävs det en energi på 4,18 joule. Ett kilogramvatten som skall höjas en grad kräver alltså 4180 joule.

Formeln för uppvärmning av en vattenmassa är följande:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

där:

Q = Energin för uppvärmning (kJ)

m = Vattnets massa (kg)

c_p = specifik värmekapacitet (4,18 kJ/kg K)

ΔT = Temperaturskillnaden (°C)

Formeln för uppvärmningseffekt är följande:

$$P = Q/t$$

där:

P = Uppvärmningseffekt (kW)

Q = energin för uppvärmning (kJ)

t = tid (s)

Exempel på användning av formeln: Värma upp en volym på 2m³ vatten och lyfta temperaturen från 10 till 20 °C. Då ser formeln ut på följande sätt:

$$Q = (2000 \text{ kg}) \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})} \cdot (20 ^\circ\text{C} - 10 ^\circ\text{C}) = 83600 \text{ kJ}$$

Eftersom en kWh = 3600 kJ blir energimängden i enheten kWh

$$Q = \frac{83600 \text{ kJ}}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = 23,22 \text{ kWh}$$

3 Värmepump

En värmepump är en anordning som använder en liten mängd energi (watt) för att flytta värme från en plats till en annan. Den fungerar enligt termodynamikens huvudsatser och använder ett köldmedium som arbetsväska. Värmepumpen har fyra huvudkomponenter: kompressorn, kondensorn, förångare och expansionsventilen. Nedan följer en kort förklaring av principerna för en värmepump:

Kompression: Kompressorn komprimerar köldmediet, vilket gör att det värms upp. Denna process ökar kylmedlets temperatur och tryck, vilket gör det varmare än den omgivande luften.

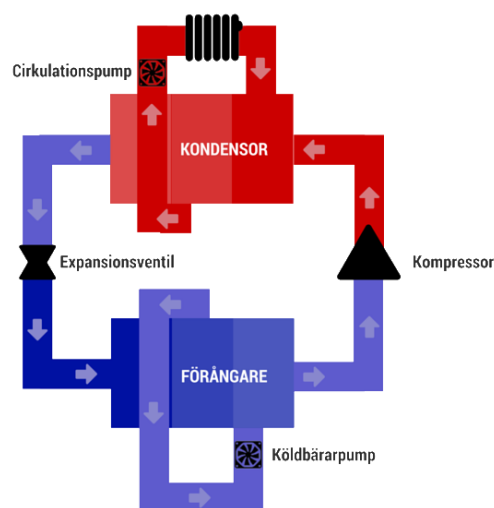
Kondensering: Det varma köldmediet strömmar sedan in i kondensorn, där det avger sin värme till den omgivande luften eller vattnet. När köldmediet avger sin värme kondenseras det från en gas till en vätska.

Expansion: Det flytande köldmediet flödar sedan genom en expansionsventil där det snabbt expanderar. Detta gör att köldmediet förlorar tryck och sjunker i temperatur.

Förångare: Köldmediet flödar sedan in i förångare, där det absorberar värme från den omgivande luften eller vattnet. När köldmediet absorberar värme avdunstar det från en vätska till en gas.

Cykeln upprepas sedan: Köldmediet återförs sedan tillbaka till kompressorn, där cykeln börjar igen.

Värmepumpar kan användas för både uppvärmning och kylning genom att man vänder på kylmedelsflöets riktning. I värmeläge hämtar värmepumpen värme från luften eller marken utanför och levererar den till inomhusluften, medan den i kylningsläge hämtar värme från inomhusluften och levererar den utåt. Värmepumpar anses vara ett effektivare och miljövänligare alternativ till traditionella uppvärmnings- och kylsystem eftersom de förbrukar mindre energi än en elektrisk värmare eller luftkonditionering. (Natural Resources Canada, 2022)



Figur 4. Värmepumpens funktioner, (Greenmatch, 2023)

3.1 Värmefaktor (COP)

COP är en förkortning på *coefficient of performance*, även kallat verkningsgrad eller värmefaktor. COP-värde beskriver hur många kilowatt värmepumpen ger jämfört med hur många kilowatt den förbrukat. Ett exempel på detta är att en värmepump med ett COP-värde på fyra ger fyra gånger mer energi tillbaka än den kräver för sin drift. (Grundfos, 2023)

3.2 Kompressor

Kompressorn är hjärtat i värmepumpsystemet. Den ansvarar för att komprimera köldmediet, som är arbetsväskan. Kompressorn höjer köldmediet temperatur och tryck, vilket gör det varmare än den omgivande luften. Den komprimerade ångan förs därefter vidare till kondensorn. Kompressorn är den enda mekaniska komponenten som man måste föra in ett arbete, (W), för att kunna öka på temperaturen. Detta görs genom att använda en liten mängd elektrisk energi för att driva en motor som driver kompressorn. (Greenmatch.se, 2015)

3.3 Kondensor

Kondensorn är den del där värmen från köldmediet avges till den omgivande luften eller vattnet. Det varma köldmediet från kompressorn strömmar in i kondensorn där det avger sin värme genom en process som kallas kondensation. När köldmediet avger sin värme övergår det från en varm gas till en vätska. (Greenmatch.se, 2015)

3.4 Expansionsventilen

Expansionsventilen har som uppgift att sänka trycket och temperaturen på det köldmediet i vätskeform. Köldmediet strömmar ut från kondensorn och genom expansionsventilen där det expanderar snabbt. Detta gör att köldmediet tappar tryck och sjunker i temperatur. Expansionsventilen är en nyckelkomponent i kontrollen av köldmediets temperatur, som i sin tur kontrollerar temperaturen på den luft eller det vatten som värms eller kyls. (Greenmatch.se, 2015)

3.5 Förångare

Förångare är den del där värmepumpen absorberar värme från den omgivande luften eller vattnet. Köldmediet, som nu har lågt tryck och låg temperatur, strömmar in i förångare där det absorberar värme genom en process som kallas avdunstning. När köldmediet absorberar värme övergår det från en vätska till en gas.

Cykeln upprepas sedan: Köldmediet återförs sedan till kompressorn, där cykeln börjar igen. Värmepumpen fortsätter att arbeta i denna cykel, där den tar ut värme från en plats och levererar den till en annan, tills den önskade temperaturen uppnås. (Greenmatch.se, 2015)

4 Olika metoder att värma upp en bassäng

Det finns flera sätt att överföra värme till en simbassäng. Vissa metoder har en högre verkningsgrad och man får mera värme ut ur samma mängd arbete med hjälp av att använda till exempel en kompressor.

4.1 Direkt el

En äldre metod som används ännu idag är att använda sig av en eller flera elmotstånd för uppvärmning. Då man använder sig av ett elmotstånd för uppvärmning kan man anta att verkningsgraden för patronen ligger kring 100 %. Idag är det dyrt att värma med direkt el och därför har många bytt till alternativa metoder för uppvärmning av simbassäng.

4.2 Luft-vattenvärmepump

En luft till vattenvärmepump eller luft-vattenvärmepump är en sorts värmepump som överför värme från luften till ett vattenburet värmesystem. De tre viktigaste delarna är förångare, kondensor och kompressor. (Daikin.se, 2022)

Det finns luft-vattenvärmepumpar som är specifikt byggda för uppvärmning av simbassänger. Men man kan också använda sig av samma luft-vattenvärmepump som värmer huset för att värma en simbassäng på sommaren. Jämfört med direkt el uppvärmning där vi når ett COP värde 1 kan man förvänta sig med en luft-vattenvärmepump ett COP värde på ca. 4–5. (Vesiläite, 2022)



Figur 5. NIBE – Polar S2125 luft-vattenvärmepump, (nibe, 2023)

4.3 Jordvärme

Att använda jordvärme för att värma upp en simbassäng är mycket energieffektivt och mera miljövänligt än att använda till exempel en elstav. I jordvärme använder man värmen från marken och hämtar den upp till ytan som sedan kan användas för att värma vattnet i simbassängen. (Värmepumpen, 2020)

Ett jordvärmesystem för en simbassäng består vanligtvis av en värmepumpsenhet, som är placerad inomhus och en jordslinga eller en borrhunn. Markslingan består av en rad rör som innehåller en vätska till exempel vatten eller brimevätska, som absorberar värme från marken. Värmepumpsenheten använder sedan denna värme för att värma vattnet i bassängen. (Bergvarmestockholm.com, 2017)

Effektiviteten på en jordvärmepump beror på temperaturen i marken och det klimat där det installeras. I allmänhet är jordvärmepumpar mest effektiva i områden med stabilt klimat, där marktemperaturen är relativt konstant hela året.

En av de största fördelarna med att använda en jordvärmepump för att värma upp en simbassäng är att den är mycket energieffektiv, eftersom den använder värmen som redan finns i marken och det är också en förnybar energikälla. Den har låga driftskostnader och släpper inte ut några växthusgaser, vilket gör

den till ett miljövänligt alternativ. Dessutom är de relativt underhållsfria och håller i många år med rätt skötsel. (Nibe.eu, 2022)



Figur 6. Nibe jordvärmepump S1255, (Nibe 2023)

4.4 Solfångare

Solvärme i en simbassäng innebär att man använder solens energi för att värma vattnet. Detta görs vanligtvis genom att installera solfångare, som är anordningar som absorberar solens energi och överför den till simbassängen. Det finns flera olika typer av solfångare som kan användas för att värma upp en simbassäng till exempel:

Platta solfångare: Detta är den vanligaste typen av solfångare som används för uppvärmning av simbassänger. De består av en platt, isolerad låda med ett genomskinligt lock som släpper in solens strålar och en svart absorberplatta som absorberar solenergin. Den absorberade energin överförs sedan till bassängvattnet när det strömmar genom solfångaren.

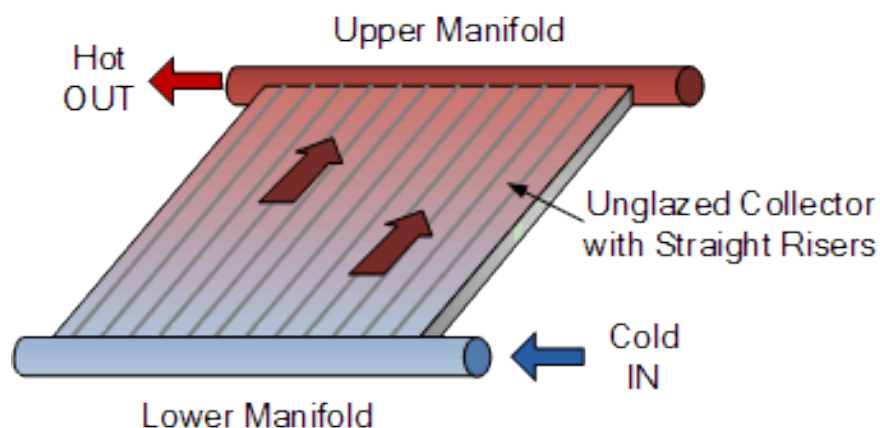
Vakuumsolfångare: Detta är en typ av solfångare som består av en serie rör som är i ett vakuum. Vakuemet bidrar till att minska värmeförlusten, vilket gör vakuumrörkollektorer effektivare än platta solfångare.

Integrerade system för lagring av solfångare: Detta är en typ av solfångare som kombinerar lagring och insamling i en enhet. Vatten cirkulerar genom kollektorn, där det värms upp av solen och lagras sedan i en isolerad tank för senare användning.

För att solvärmen i en simbassäng ska vara så effektiv som möjligt måste solfångarna vara rätt dimensionerade, installerade och vinklade för att säkerställa maximal exponering för solstrålning. Simbassängens pump- och filtersystem bör även konfigureras för att fungera tillsammans med solfångarna.

Solvärme för simbassängen anses vara ett mycket energieffektivt och miljövänligt sätt att värma upp en simbassäng eftersom det använder förnybar energi från solen och har låga driftskostnader. Den har också fördelen att den inte kräver elektricitet för att fungera, vilket gör att man kan spara på elkostnaderna. Den initiala installationskostnaden kan vara hög och den är inte effektiv i klimat med begränsad solexponering.

Det är viktigt att notera att bassängvärmare med solceller inte fungerar lika bra som en bassäng som är el uppvärmd när det gäller att upprätthålla en konstant temperatur i bassängen, speciellt under molniga dagar eller på kvällen. En solcellsvärmare för bassängen används bäst som ett komplement till andra uppvärmningsmetoder. (Motiva, 2020)



Figur 7. Solfångare för simbassänger, (Solar Pool Heating for Hotter Swimming Pools, 2022)

4.5 Vedpanna

Det är möjligt att använda en vedbrännare som värmekälla för uppvärmning av en simbassäng, men det finns vissa begränsningar och överväganden som måste beaktas. Vedbrännare används vanligtvis som en sekundär värmekälla, som komplement till andra uppvärmningsmetoder, till exempel el.

Grundprincipen för att använda en vedbrännare för att värma upp en simbassäng är att använda den värme som genereras av vedförbränningen för att värma upp vatten som sedan cirkuleras i bassängen. Vedbrännaren är ansluten till en värmeväxlare som överför värmen från rökgaserna till vattnet.

En av de största fördelarna med att använda en vedbrännare för att värma upp en simbassäng är att det är ett relativt billigt alternativ, eftersom ved ofta är billigare än andra bränslekällor. Ett kubik ved ger cirka 2000kWh av energi som kan sedan rakt jämföras med el. Om priset på kilowatt timme el är 0,10 cent får vi att ett kubik ved är värt cirka 200€. Att använda en vedbrännare har dock också sina nackdelar. För det första kräver vedbrännare ett konstant utbud av ved, vilket kan vara svårt att få tag på och lagra. Dessutom producerar vedbrännare rök och aska som har en negativ inverkan på miljön.

Effektiviteten för en vedeldad simbassäng beror på vedbrännarens utformning och kvalitet samt på vilken typ av ved som förbränns. Det är viktigt att se till att vedbrännaren installeras och underhålls på rätt sätt för att garantera säker drift och maximal effektivitet. (pool-fritid.se, 2019)



Figur 8. Vedpanna för en simbassäng, (Kylpytynnyrin Kamina Arctic 35 KW, 2023)

4.6 NIBEs värmedimensionering för en simbassäng

I Nibes guidehandbok för dimensioneringar ”Pientalojen maalämpöpumppuopas” på sidan 20 finns det riktgivande sätt hur man kan dimensionera en simbassäng. I instruktionerna rekommenderas att använda en värmeeffekt på 300W gånger bassängens kvadrater. Dimensioneringen gäller enbart för bassänger inomhus. Dimensioneringen beaktar inte isoleringsmaterial som används då man byggt simbassängen eller om bassängen är täckt då den inte är i bruk. Dimensioneringen är oberoende värmesystemet, dvs. den går att använda med både jordvärme och luft-vattens värmepump.

För att dimensionera en simbassäng som är utomhus används en tumregel som inte är skriven i guidehandbok men som är accepterad inom företaget som den officiella metoden. Metoden gäller endast uppvärmning med jordvärme. Man behöver veta volymen på den uppvärmda bassängen och adderar den till borrbrunnens djup. Ett exempel på detta är att om värmebrunnen för huset är till exempel 170 m och simbassängen vi vill värma är 30 m³, adderar vi dessa tal ihop och får att vårt nya aktiva djup för borrhålet borde ligga kring 200 m. Denna dimensionering används bara på simbassänger som är utomhus och värms på sommaren. (PIENTALOJEN MAALÄMPÖ- PUMPPU OPAS)

4.7 Passiva metoder för uppvärmning av en simbassäng

Den vanligaste passiva tekniken för simbassänger är att använda ett värmeisolerande lock, som kan effektivt förhindra värmeförluster, särskilt när det gäller förluster som orsakas avdunstning. Det vill säga, ett värmeisolerande lock kan effektivt minska uppvärmningsbelastningen för en pool, utan att använda bränsle eller elnät och hör därmed till kategorin passiva uppvärmningsmetoder. (Li et al., 2020)

5 Bassängskydd och isoleringens inverkan

Mängden och fysiska egenskaper på isoleringsmaterialet påverkar simbassängens energieffektivitet. Som isoleringsmaterial används vanligtvis olika plaster som till exempel EPS (även kallad styrox), polyuretan, polyvinylklorid eller polykarbonat. Genom att isolera bassängen sparar man även på naturen då mindre av energin som har gått åt att värma bassängen går till spillo. Särskilt isolering som hindrar avdunstning är en investering som i längden lönar sig och kommer att påverka direkt på driftkostnaderna.

Simbassängens konstruktion är vanligen gjord av betong, vinyl eller glasfiber. Tjockleken och materialets egenskaper att hålla värme varierar från material till material. En simbassäng som är konstruerad av betong har ett större U-värde än motsvarande bassäng som enbart består av glasfiber eller vinyl.

Simbassänger behövs inte isoleras enbart från marken utan också från luften. Detta kan göras med ett bassängtak eller ett bassängskydd. Största förlusterna i en simbassäng sker via vattenytan. Genom att sätta på ett lock på en kastrull då man kokar vatten, kan också en simbassäng bli täckt för att spara på uppvärmningskostnader. (Poolar.se, 2016)

5.1 Bassängtak

Bassängtak brukar vara måttbeställda och till sin konstruktion antingen gjorts av metall eller plast och brukar variera i höjd från några tiotals centimeter till över två meter i höjd. Principen är att man täcker hela bassängen och försöker minimera förlusterna som specifikt uppkommer från avdunstning. Bassängtak ökar medeltemperaturen på simbassängsvatten med cirka 6 och 10 °C, minskar åtgången av kemikalier och hindrar skräp från att hamna in i bassängen. Taket fungerar med växthusprincip, genom att släppa solstrålens värme lättare in än vad det är för värmen att komma ut. (Spa o Bad, 2023)



Figur 9. Ett pooftak är ett effektivt sätt att minska på värmeförluster, (Spa o Bad, 2023)

5.2 Bassängtäcke

Ett billigare alternativ än bassängtak är bassängtäcke som har en liknande isolerande effekt. Den ligger plant direkt mot simbassängens däck och består ofta av enklare cellplaster som frigolit eller ecoprim. Det finns också en version av bassängtäcke som kallas för bar cover och består av aluminium rör som läggs ut över bassängen. (Spa o Bad, 2023)



Figur 10. Bassängtäcke (Spa o Bad, 2023)

5.3 Lamelltäcke

Lamelltäcken är idag ett av de mest använda bassängskydd och det flyter ovanpå vattenytan. Lamelltäcken tillverkas vanligen av antingen PVC (polyvinylklorid), en färglös plast eller PC (polykarbonat) som är en genomskinlig plast. Lamelltäcken gjorda på PC är dyrare men fungerar också som ”solpaneler” genom att släppa värmen in till simbassängen men inte ut. (Spa o Bad, 2023)

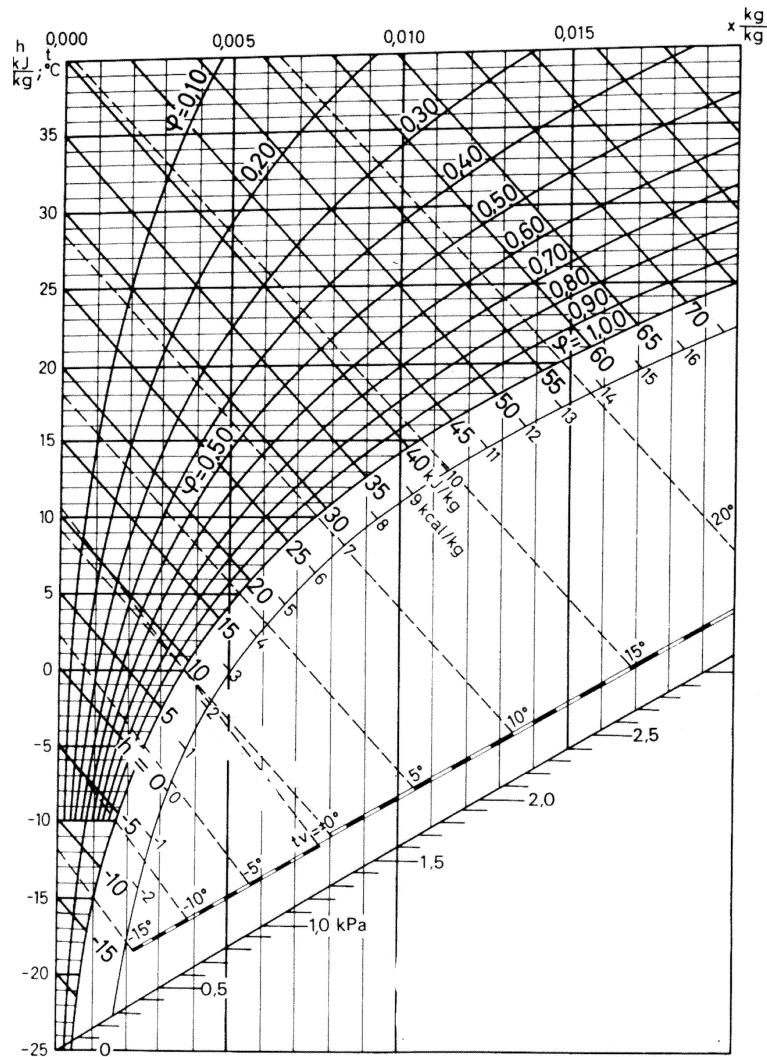
6 Energiberäkningar för en praktisk simbassäng

Följande är ett exempel på en fiktiv simbassäng som har följande dimensioner: den är 5 m bred och 4 m lång samt 1,5 m djup. Vi antar att djupet är konstant för praktikens skull. Vi antar att bassängen har en vattentemperatur på 30 °C, den omgivande luftens temperatur är 20 °C och relativa fuktigheten är 70 %. Med detta kan vi tolka från mollierdiagrammet under att vi har en luftfuktighet på 0,010 kg/kg. Vi antar också att vindhastigheten är en konstant 5 m/s.

Den huvudsakliga formeln för att räkna alla förluster och som slutligen kommer att ge oss en effekt är följande:

$$\rho_w \cdot c_w \cdot V_P \cdot \frac{dT_p}{dt} = \sigma_{io} \cdot \dot{Q}_s - \dot{Q}_e - \dot{Q}_{cv} - \dot{Q}_{cn} - \dot{Q}_r - \dot{Q}_{rf}$$

Där ρ_w och c_w är densiteten och specifika värmen för vatten, respektive; V_p och T_p är volymen och temperaturen för vattnet i simbassängen. σ_{io} är en konstant för att skilja mellan simbassänger som är inne och ute. För inomhus bassänger är värdet 0, medan för bassänger som befinner sig ute är σ_{io} 1. $\dot{Q}_s$ är vämetillskottet som har kommit från solen. $\dot{Q}_e, \dot{Q}_{cv}, \dot{Q}_{cn}, \dot{Q}_r, \dot{Q}_{ref}$ är värmeförlusten från förångningen, konvektion, ledning, strålning och påfyllning av vatten, respektive; och t representerar tiden. Var och en av de ovan nämnda värmevinst- och förlustposterna beskrivs nedan i detalj.



Figur 11. Mollierdiagram för luftfuktighet, (the engineering toolbox, 2014)

Temperature	Vapor pressure
[°C]	[kPa] [100*bar]
0.01	0.61165
2	0.70599
4	0.81355
10	1.2282
14	1.5990
18	2.0647
20	2.3393
25	3.1699
30	4.2470
34	5.3251
40	7.3849
44	9.1124
50	12.352
54	15.022
60	19.946
70	31.201
80	47.414
90	70.182
96	87.771
100	101.42

Figur 12. Ångtrycket för vatten vid olika temperaturer, (The Engineering Toolbox, 2014)

6.1 Förluster på grund av förångning

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.2 för att beräkna ut värmeeffekten för avdunstning Q_e och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_e = h_e \cdot A_p \cdot (p_s - p_a)$$

där p_s är det mättade ångtrycket vid vattenytan, p_a är det partiella ångtrycket i omgivande luft, och h_e representerar värmeöverföringskoefficienten för avdunstning som betraktas som den empirisk funktion av vindhastigheten, avbildad av följande ekvation:

$$h_e = c + d \cdot w_a^z$$

där c, d och z är de faktorer som identifierats av olika forskare och har valt att använda oss av ASHRAE (2003) som presenterades i kapitel 2.2 och oss följande värden:

Författare	c (W/(m ² · Pa))	d (W·s/(m ³ · Pa))	z (—)
ASHRAE (2003)	0,0890	0,0782	1

Variabeln w_a står för vindhastigheten parallellt med vattenytan.

För att räkna ut p_s och p_a kan vi använda figur 12 tabell och kolla att vid en temperatur på 20°C så har vi ett ångtrycksvärde för p_a på 2339 Pa och för p_s ett värde på 4247 Pa. Då vi slår in alla värden så får vi en följande beräkning:

$$\dot{Q}_e = (0,0890 + 0,0782 \cdot 5^1) \cdot (5 \cdot 4) \cdot (4247 - 2339) =$$

Och slutliga effekten för förluster på grund av avdunstning kommer då att bli: 18,316 kW

6.2 Förluster på grund av ledning

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.3 för att beräkna ut en effekt för ledning som är $\dot{Q}_{cn}$ och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_{cn} = \frac{1}{2L_s} \cdot \dot{Q} \cdot k_s \cdot A_s \cdot (T_p - T_s)$$

där L_s är bassängens längd och A_s representerar ytan för ledning till marken. $\dot{Q}$ är den dimensionslös ledningsförmåga som kan beräknas med att utnyttja färdiga formfaktorer som kan hittas i Bergman TL, Incropera FP, DeWitt DP, Lavine AS (2011). På grund av svårigheten att beräkna ut en färdig formfaktor för en simbassäng och på grund av att värme förlusterna kommer slutligen att inte påverka den stora helheten, har jag beslutit att inte ta det i hänsyn i exempel beräkningarna.

(Bergman et al. 2011)

6.3 Förluster på grund av konvektion

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.4 för att beräkna ut en effekt för $\dot{Q}_{cv}$ och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_{cv} = h_{cv} \cdot A_p \cdot (T_p - T_a)$$

där h_{cv} är beräknats med hjälp av följande empiriska ekvationer:

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0 \cdot w_a \text{ (Lam and Chan 2001)}$$

där T_a är temperaturen på omgivande luften och T_p är temperaturen på vattnet i simbassängen. Då får vi följande värden till ekvationen:

$$\dot{Q}_{cv} = (2,8 + 3,0 \cdot 5) \cdot 20 \cdot (30 - 20)$$

Och då får vi en förlust på: 3,56 kW

6.4 Förluster på grund av strålning

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.5 för att beräkna ut en effekt för $\dot{Q}_r$ och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_r = A_p \cdot \varepsilon_w \cdot \sigma_s \cdot ((T_p + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4)$$

där ε_w är vattnets emissivitet som vi antar att är 0,96, σ_s är Stefan-Boltzmanns konstant, som är $5,6703 \cdot 10^{-8} (\text{W/m}^2\text{K}^4)$ och T_{surf} är den övre ytemperaturen i den omgivande miljön. T_{sky} himlens temperatur som antas att vara enligt Smith et al. 1994 som ger oss $T_{sky} = (T_a + 273) \cdot (0,8 + T_{dew}/250)^{0,25} - 273$. T_{dew} är daggpunktstemperaturen som vi antar är 16 °C, ε_s är himlens emissivitet som vi antar är 0,741, och då får vi:

$$\dot{Q}_r = 20 \cdot 0,96 \cdot 5,6703 \cdot 10^{-8} \cdot ((30 + 273)^4 - (20 + 273) \cdot ((0,8 + \frac{16}{250})^{0,25} - 273) + 273)^4)$$

Som ger oss en förlust på: 2,24 kW

6.5 Förluster på grund av påfyllning

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.7 för att beräkna ut en effekt för $\dot{Q}_{ref}$ och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_{ref} = c_w \cdot m_{rf} \cdot (T_p - T_{rf})$$

där T_{rf} representerar temperaturen hos det påfyllda färskvattnet har en konstant temperatur på 15°C, T_p är temperaturen på vattnet i simbassängen och m_{rf} representerar massflödes hastigheten för det fyl-
lande färskvattnet som vi antar också att vara ett konstant flöde. Vi antar att vi fyller på 5% av

simbassängens volym som i detta fall är 1500kg. Vattnets specifika värmekapacitet är 4,18 kJ/(kg·K).

Då får vi följande tal i ekvationen:

$$\dot{Q}_{ref} = 4,18 \cdot 1500 \cdot (30 - 15)$$

Som ger oss en förlust på: 94,05kWh. Det vill säga att byta ut 1500l vatten som har en temperatur skillnad på 15°C skulle kräva cirka 94kWh av energi.

6.1 Värmetillskott från solen

Vi använder oss av samma formler som i tidigare kapitel 2.8 för att beräkna ut en effekt för $\dot{Q}_{ref}$ och formeln ser ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_s = \alpha_s \cdot G_s \cdot A_p$$

där G_s betecknar solinstrålningen och α_s betecknar solabsorptionsförmåga, som antas vara 0,85. Vi antar att bassängen befinner sig i Helsingfors, Kumpula och då får vi ett solstrålningsvärde på 364,69 W/m² i genomsnitt. Då ser ekvationen ut på följande sätt:

$$\dot{Q}_s = 0,85 \cdot 364,69 \cdot 20$$

Och då får vi ett tillskott på: 6,19 kW.

6.2 Slutsats

Då alla beräkningar är slutförda kan man till slut ta och addera alla förluster ihop och på det sättet få en slutlig effekt för värmeförlusten. Formeln vi använder kommer att se ut på följande sätt:

$$\rho_w \cdot c_w \cdot V_p \cdot \frac{dT_p}{dt} = \sigma_{io} \cdot \dot{Q}_s - \dot{Q}_e - \dot{Q}_{cv} - \dot{Q}_r - \dot{Q}_{ref}$$

Man kan anta att σ_{io} är en konstant som anses vara 1 för en bassäng som befinner sig utomhus. Då kommer det att se ut på följande sätt:

$$1000 \cdot 4,18 \cdot 30 \cdot \frac{d30}{dt} = 1 \cdot 6,19\text{kW} - 18,31\text{kW} - 3,56\text{kW} - 2,24\text{kW} - 94,05\text{kWh}$$

och den slutliga effekten för förluster blir då till 30,3kW och om man fyller på 1500l av vatten till simbassängen krävs det en energi mängd av 94,05kWh att värma upp vattnet till 30°C. Med effekten 30,3kW skulle uppvärmningen av en vatten massa på 1500l från 15°C till 30°C ta cirka 3 timmar.

Diskussion och slutsats

Arbetets mål var att presentera olika metoder för uppvärmning av en simbassäng samt identifiera faktorer som påverkar värmeförlusterna för en simbassäng och hur man kan minska dem. Med hjälp av det material som sammanfattas i arbetet och de matematiska formlerna kan man beräkna de största värmeförlusterna för en simbassäng. Exempelen och beräkningarna i arbetet kan också tillämpas på andra situationer där isoleringen är av annat material eller tjockleken på materialen varierar. Alla beräkningar är teoretiska, och det finns möjlighet att faktorer som inte beaktats i kapitel 6 kan påverka bassängen. Även klimatfaktorer kan förändras i framtiden, vilket kan leda till avvikelser i beräkningarna jämfört med dagens förutsättningar.

Även uppvärmningsmetoden påverkar den totala energieffektiviteten. För att optimera uppvärmningen måste man balansera den initiala investeringskostnaden med energieffektiviteten hos värmekällan. En bassäng uppvärmd med elektriskt motstånd har låga initiala kostnader men höga driftkostnader, medan en värmepump som använder jordvärme har höga investeringskostnader men låga driftkostnader. En värmepump kan uppnå en verkningsgrad på upp till 5, vilket innebär att för varje kWh elektrisk energi som tillförs pumpen, kan man få fem kWh värmeenergi.

Ett bassängskydd är en enkel men kostnadseffektiv metod för att minimera avdunstning, en av de största förluskällorna för en simbassäng. Tätheten av bassängskyddet är avgörande för att minska värmeförlusterna och behöver inte alltid vara tjockt för att vara effektivt.

Undersökningen är endast teoretisk och kan skilja sig från verkligheten. Markens värmeledningsförmåga kan variera från ett ställe till ett annat, vilket kan påverka värmeöverföringen i större eller mindre utsträckning än vad som antas i teoretiska uppgifter. Resultaten jag har fått i arbetet fungerar som

vägledning för liknande simbassänger. För bassänger med andra värmeförluster kan resultaten variera. Framtida studier bör överväga att inkludera flera simbassänger för att erhålla mer tillförlitliga och varierande resultat.

7 Källor

Arcada. 2021. *God vetenskaplig praxis i studier vid Arcada*. Tillgänglig: [Microsoft Word - GOD VETENSKAPLIG PRAXIS I STUDIER VID ARCADA 2014.docx](#)

Hämtad: 26.4.2022.

Bergman TL, Incropera FP, DeWitt DP, Lavine AS (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th edn. (2011) Tillgänglig: [9780470501979.pdf \(at.ua\)](#)

Hämtad 14.11.2023

Bergvarmestockholm.com. (2017). *Så fungerar en kollektorslang | Bergvärme Stockholm*. Tillgänglig: <https://www.bergvarmestockholm.com/sa-fungerar-en-kollektorslang>

Hämtad: 9.5.2022

Biddulph, P., Gori, V., Elwell, C.A., Scott, C., Rye, C., Lowe, R. and Oreszczyn, T. (2014). Inferring the thermal resistance and effective thermal mass of a wall using frequent temperature and heat flux measurements. *Energy and Buildings*, 78, pp.10–16. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.004>.

Hämtad: 19.2.2023.

Buonomano A, de Luca G, Figaj RD, Vanoli L (2015). Dynamic simulation and thermo-economic analysis of a PhotoVoltaic/ Thermal collector heating system for an indoor–outdoor swimming pool. *Energy Conversion and Management*, 99: 176–192.

Hämtad: 18.12.2023

Connor, N. (2019). Thermal-engineering.org. Tillgänglig: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-fouriers-law-of-thermal-conduction-definition/>

Hämtad: 19.2.2023.

Daikin, vad är årstidsrelaterad verkningsgrad (SCOP och SEER)?. Tillgänglig: https://www.dai-kin.se/sv_se/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html

Hämtad: 26.4.2022.

Daikin.se. (2022). *Air to water low temperature heat pumps*. Tillgänglig: [Luft-vattenvärmepumpar Daikin Altherma-serien | Daikin](#)

Hämtad: 9.5.2022

ENERGIFAKTA. (2022). *Grundvattenvärme» | Gratis offerter |*. Tillgänglig: <https://energifakta.nu/grundvattenvarme/>

Hämtad: 9.5.2022

Energy.gov. (2022). *Electric Resistance Heating*. Tillgänglig: <https://www.energy.gov/energysaver/electric-resistance-heating>

Hämtad: 26.4.2022.

Engineeringtoolbox.com. (2023). *Conductive Heat Transfer*. Tillgänglig: https://www.engineeringtoolbox.com/conductive-heat-transfer-d_428.html

Hämtad: 27.3.2022.

Engineeringtoolbox.com. (2023). *Evaporation from a Water Surface*. Tillgänglig: https://www.engineeringtoolbox.com/evaporation-water-surface-d_690.html

Hämtad: 17.2.2022.

Engineeringtoolbox.com. (2023). *Moist Air - the Mollier Diagram*. Tillgänglig: https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html

Hämtad: 17.2.2022.

Engineering Toolbox (2014). *Thermal Conductivity of common Materials and Gases*. Engineeringtoolbox.com. Tillgänglig: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.

Hämtad: 17.2.2022.

Fakta om NIBE - Ägavärmepump.se. Tillgänglig: <https://xn--gavrmepump-p5ad.se/sidor/nibe>.

Hämtad: 26.4.2022.

Fastighetsteknik. (2015). *Formler*. Tillgänglig: [Formler – Fastighetsteknik \(wordpress.com\)](#)

Hämtad: 16.11.2022.

Giovanisci, M. (2019). *What is The Perfect Pool Temperature?* Swim University®. Tillgänglig: <https://www.swimuniversity.com/pool-temperature/>

Hämtad: 2.11.2022.

Greenmatch.se. (2015). *Värmepumpens funktioner*. Tillgänglig: <https://www.greenmatch.se/blogg/2015/10/vaermepump-funktion>

Hämtad: 1.11.2022.

Grundfos. (2023). *Coefficient of Performance (COP) heat pumps*. Tillgänglig: <https://www.grundfos.com/in/learn/research-and-insights/coefficient-of-system-performance>

Hämtad: 24.2.2023.

ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot (2020). *Vuositilastot - Ilmatieteen laitos*. Ilmatieteen laitos. Tillgänglig: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>

Hämtad: 10.12.2022.

Indeeco.com. (2021). *What is an Immersion Heater?* Tillgänglig: <https://indeeco.com/news/2014/11/06/what-immersion-heater>

Hämtad: 25.10.2022.

Kylpytynnyrin kamina Arctic 35 kW. (2023). Hyvän Kaupan Paikka. Tillgänglig: <https://www.hyvan-kaupanpaikka.fi/product/164/kylpytynnyrin-kamina-arctic-35-kw>

Hämtad 1.6.2023.

Li, Y., Nord, N., Huang, G., & Li, X. (2020). Swimming pool heating technology:

A state-of-the-art review. *Building Simulation*, 14(3), 421–440. Tillgänglig:

[Swimming pool heating technology: A state-of-the-art review | Building Simulation \(springer.com\)](https://www.springer.com/article/10.1007/s12221-020-00000-0)

Hämtad 12.10.2023.

Motiva. (2020). *Ulkouima-altaiden lämmitys*. Tillgänglig: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusi-utuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/ulkouima-altaiden_lammitys

Hämtad: 3.5.2022.

Natural Resources Canada (2022). *Heating and Cooling With a Heat Pump*. Tillgänglig: <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-star-canada/about/energy-star-announcements/publications/heating-and-cooling-heat-pump/6817>

Hämtad: 16.5.2023.

Nibe.eu. (2022). *Bergvärme | Vad är bergvärme och hur fungerar det? - NIBE*. Tillgänglig: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/sa-fungerar-det/bergvarme>

Hämtad: 4.5.2023.

PIENTALOJEN MAALÄMPÖ- PUMPPU OPAS. (n.d.). Tillgänglig: <https://part-ner.nibe.eu/upload/haato/Ohjeet/PIENTALOJEN%20NIBE%20MLP%20OPAS%201420-7.pdf>

Hämtad: 3.5.2022.

Poolar.se (2016). *Isolerad pool ger lägre uppvärmningskostnader*. [online] Poolar.se. Tillgänglig: <https://www.poolar.se/isolerad-pool/>

Hämtad: 3.1.2023.

Raushan, K., Ahern, C. and Norton, B. (2022). Determining realistic U-values to substitute default U-values in EPC database to make more representative; a case-study in Ireland. *Energy and Buildings*, Tillgänglig: [Determining realistic U-values to substitute default U-values in EPC database to make more representative; a case-study in Ireland - ScienceDirect](#)

Hämtad: 3.3.2023.

Solar Pool Heating for Hotter Swimming Pools. (2022, March 16). Alternative Energy Tutorials. Tillgänglig: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-pool-heating.html>
Hämtad 28.3.2022.

Spa o Bad. (n.d.). *Pooltak Alpin M10*. Tillgänglig: <https://spaobad.com/pooltaken/alpin-pooltak-m10/>

Hämtad: 3.1.2023.

Vårdhandboken.se. (2021). *Normal kroppstemperatur - Vårdhandboken*. Tillgänglig: <https://www.vardhandboken.se/undersokning-och-provtagning/temperaturmatning/normal-kroppstemperatur/>

Hämtad: 10.12.2022.

Värmeöverföring — Jernkontorets energihandbok (2014). *Jernkontorets energihandbok*. Jernkontorets energihandbok. Tillgänglig: <https://www.energihandbok.se/varmeoverforing>

Hämtad: 10.10.2022.

Vesilaite. (2022). *Uima-altaan lämmitys - Vesilaite.fi*. Tillgänglig: <https://www.vesilaite.fi/uima-altaat/uima-altaan-lammitys/>

Hämtad: 27.4.2022.

Wikipedia. *Nibe Industrier* Tillgänglig: https://sv.wikipedia.org/wiki/Nibe_Industrier..

Hämtad 26.4.2022.

Wikipedia Contributors (2023). *Ground source heat pump*. Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_source_heat_pump

Hämtad 28.3.2022.