

Delrapport 1

Ventilation

Adam Frisk, Katja Leickt

Ventilation i simhallar

Bassänger som renas med klor ger upphov till luftburna klorföreningar vid reaktion med kväveföreningar och organiskt material (Almemark et al, 2015). Dessa klorföreningar i större mängder kan vara skadliga för människor och därför krävs ett effektivt luftutbyte vid vattenytan vilket måste tas i beaktning vid utformning av ventilationssystemet. Behovet av ventilation är beroende av antal personer som vistas i lokalen och en energieffektiv lösning kan därför vara att ventilationen anpassas efter koldioxidhalten i luften. För att ventilerat bort hälsoskadliga klorföreningar kan ett luftflöde på låg höjd över vattenytan användas i kombination med takfläktar. Bubbelpooler, varma bassänger, fontäner och rutschbanor innebär ökad avdunstning och därmed även ökad avgång av andra gasföreningar som bland annat klorföreningar. Av denna anledning kan det vara bra att placera frånluftdon nära dessa platser för att undvika cirkulation av klorföreningarna som avges där (Almemark et al. 2015). Simhallar bör ha ett undertryck jämfört med omgivningen för att förhindra att luft pressas ut genom otätheter och orsakar fuktskador och detta ställer ytterligare krav på ventilationen.

En viktig funktion ventilation i simhallar har är att avfukta luften eftersom luftfuktigheten påverkar luftkvaliteten, den termiska komforten och energianvändningen (Yuan et al. 2021). Avfuktning av inomhusluften i en simhall kan göras genom användning av värmepump. Då kan mycket av energin som går åt vid vattenavdunstning återvinnas genom att värmen återförs till bassängvattnet. Denna lösning är energieffektiv men innebär samtidigt en ökad elanvändning jämfört med avfuktning med stort genomflöde av friskluft.

Vattenavdunstning

Vattenavdunstning är en stor källa till energiförluster i bassänger och det ökar även behovet av ventilation för att minska luftfuktigheten och avgång av hälsoskadliga klorföroreningar (Asdrubali, 2009). Avdunstning av vatten leder till hög luftfuktighet som kan orsaka mögel, fuktskador och en kvav atmosfär vilket påverkar den termiska komforten. Vattenavdunstning beror på flera parametrar som bland annat relativ luftfuktighet, vindhastighet och temperatur i vatten samt i luften. Även typ av aktivitet har stor påverkan. Äventyrsbad med mycket plask och lek samt vattenrutschbanor och fontäner etcetera ger upphov till ökad avdunstning.

Användning av bassängtäcken de tider som bassängerna är stängda kan spara mycket energi. Den minskade avdunstningen reducerar värmeförlusterna samt behovet av ventilation för inomhuspooler vilket sparar energi (Almemark et al. 2015). Denna metod är inte lika effektiv om ventilationssystem med värmepump tillämpas då den tekniken utnyttjar och återvinner energin som avges vid avdunstning.

Metod

För att beräkna ventilationens effektbehov under ett år användes timvis temperaturdata för år 2024 från SMHIs väderstation Uppsala Aut (SMHI, u.å.). Verkningsgraden för nuvarande ventilationsaggregat uppskattades vara 0,4 och 0,9 för ett nytt ventilationsaggregat, där det nya aggregatet antogs vara en motströmsvärmväxlare av modellen NX ThermoCond från Menerga (REC, u.å.). Verkningsgraden definierades som hur effektivt ett aggregat omvandlar elektrisk energi till energi som används i syfte för ändamålet, i detta fall ventilerar lokalerna. Kostnaden för ett nytt aggregat uppskattades vara 2 miljoner kronor enligt Kent Granberg, leverantör för Menerga. Effektbehovet för det nya respektive nuvarande aggregat plottades i python och ett stapeldiagram över energiförbrukningen togs fram.

För beräkning av ett ventilationsaggregats effektbehov användes följande formel:

$$\dot{Q} = \dot{V} \times \rho \times (h_{inne} - h_{ute}) \quad (1)$$

Där $\dot{Q}$ är effektbehovet, $\dot{V}$ är volymflödet luft, ρ är luftens densitet, och h är entalpin för inomhusluft, respektive utomhusluft. Entalpierna beräknades enligt:

$$h = c_{p,luft} \times T + x \times (r + c_{p,v} \times T) \quad (2)$$

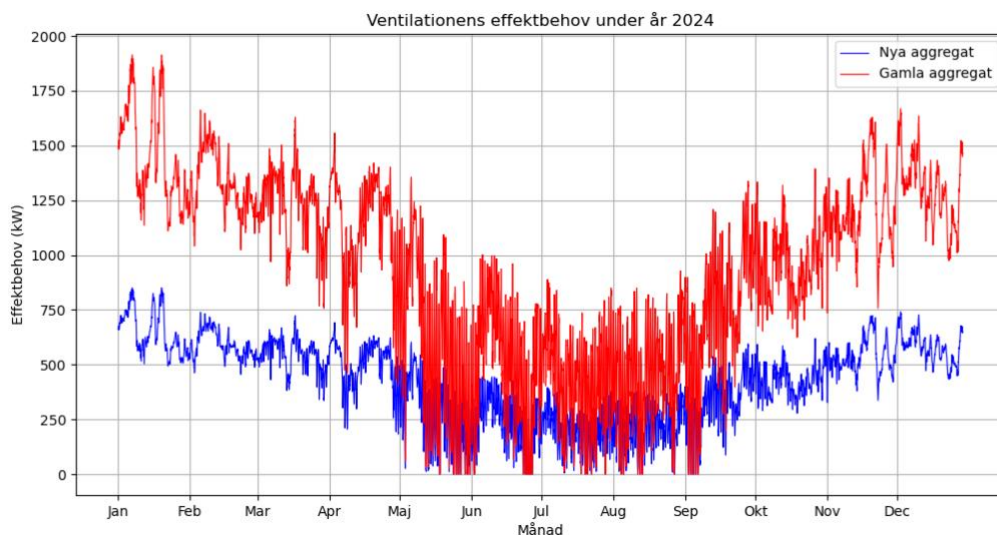
Där c_p är den specifika värmekapaciteten för luft respektive vattenånga, T är temperatur, x är fuktinnehållet, och r är vattnets förångningsvärme. Fuktinnehållet x beräknades med ekvationen:

$$x = 0,622 \times \frac{p_v}{p_{atm} - p_v} \quad (3)$$

Där p_v är mättnadsångtrycket och p_{atm} är atmosfärstrycket. Konstanten 0,622 härstammar från division av molmassan för vattenånga med molmassan för torr luft.

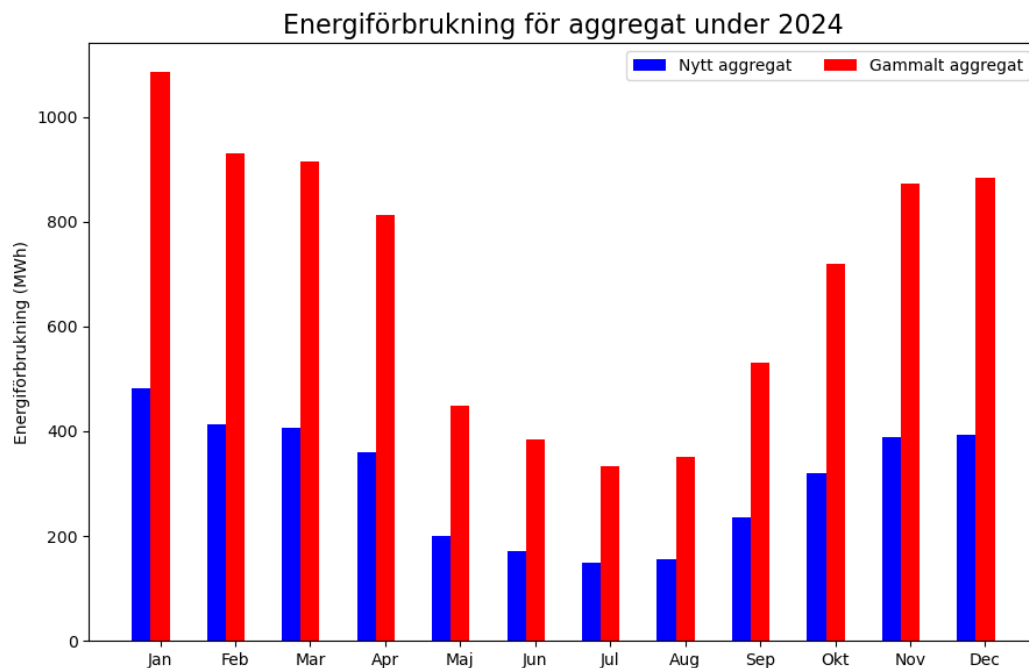
Resultat

Figur 1 visar hur ventilationens effektbehov skiljer sig då verkningsgraden är 0,9 respektive 0,4 vilket ska motsvara nya och gamla ventilationsaggregat. Effektbehovet är plottat över ett år och timvis temperaturdata från SMHI för år 2024 har använts. Ett luftflöde på 27 500 m³/h har använts för båda aggregaten. Ett nytt aggregat beräknades vara 125% mer effektivt än ett gammalt.



Figur 1: Ventilationens effektbehov som funktion av utomhustemperaturen under år 2024 då verkningsgraden är 0,9 respektive 0,4.

Nedan syns energiförbrukningen för ett nytt respektive ett gammalt ventilationsaggregat för varje månad under år 2024 i både Figur 2 och Tabell 1. I Tabell 1 syns även de potentiella energibesparingarna som kan utvinnas då ett gammalt ventilationsaggregat byts ut mot ett nytt.



Figur 2: Energiförbrukning per månad för ett nytt respektive ett gammalt ventilationsaggregat under år 2024.

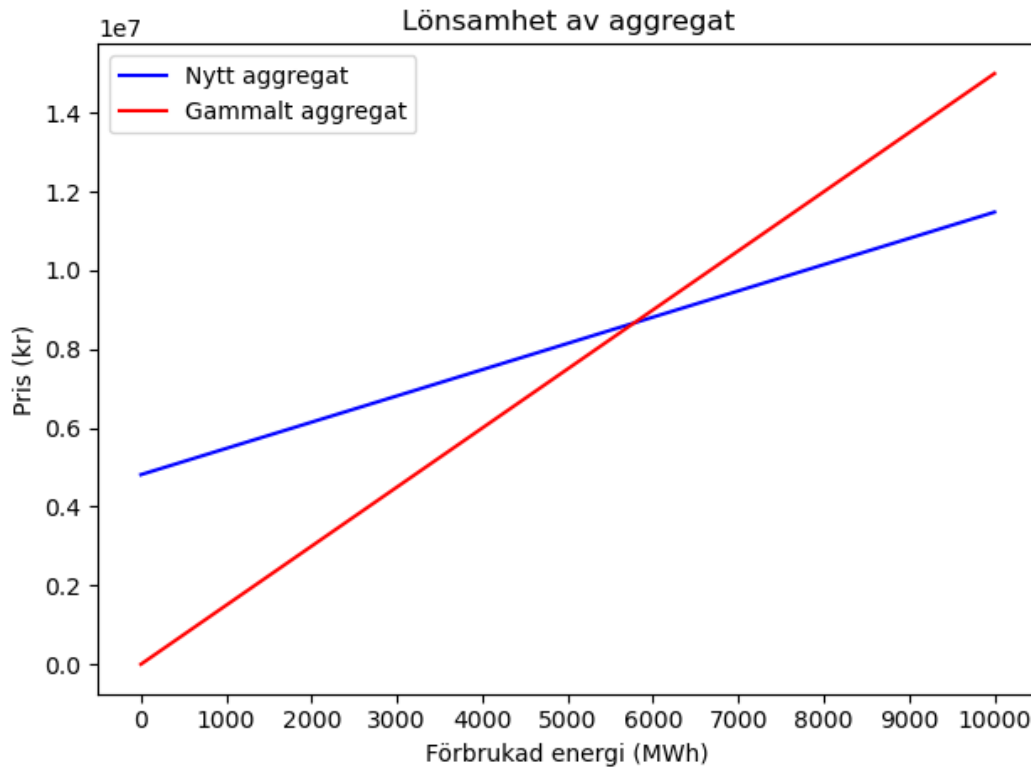
Tabell 1: Energiförbrukning per månad för ett nytt respektive ett gammalt ventilationsaggregat under år 2024, samt potentiella besparingar vid utbyte av ett gammalt aggregat mot ett nytt.

Månad	Nytt aggregat [MWh]	Gammalt aggregat [MWh]	Besparingar [MWh]
Januari	482	1086	603
Februari	414	930	516
Mars	406	914	508
April	361	812	451
Maj	199	448	249
Juni	171	384	213
Juli	149	334	186
Augusti	156	352	195
September	236	530	294
Oktober	319	719	399
November	388	874	485
December	393	883	491

Genom att byta ut gamla aggregat mot nya sänks energiförbrukningen med 55,5%.

Lönsamhet

I Figur 3 syns det att installation av ett nytt aggregat blir lönsamt då det förbrukar ungefär 5800 MWh.



Figur 3: Driftkostnad för ett gammalt ventilationsaggregat jämfört med inköp och drift av ett nytt.

Vid undersökning av Figur 2 syns det att efter oktober överskrider energiförbrukningen 5800 MWh och markerar därför tidpunkten under år 2024 då ett nytt ventilationsaggregat blir mer lönsamt än ett gammalt.

Känslighetsanalys

Vid beräkning av effektbehovet för ventilationssystemen uppskattades flera parametrar, däribland utomhusluftfuktigheten x . Då luftfuktigheten har ett icke-linjärt samband med effektbehovet genomfördes en känslighetsanalys där utomhusluftfuktigheten varierades med en faktor 10%. För att ta hänsyn till energiförbrukning för både gamla och nya aggregat undersöktes hur energibesparingarna förändrades.

Tabell 2: Hur energibesparingarna förändras då utomhusluftfuktigheten x varierar.

Månad	$x+10\%$	$x+0\%$	$x-10\%$	Genomsnittlig förändring
Januari	598 kWh	604 kWh	609 kWh	1%
April	441 kWh	451 kWh	462 kWh	2,3%
Juli	161 kWh	186 kWh	212 kWh	13,8%
Oktober	386 kWh	399 kWh	413 kWh	3,4%

När utomhusluftfuktigheten x varierar syns störst variation i energibesparingar för juli månad. Detta kan bero på att vid högre temperaturer kan luften bära mer fukt (Svenskt Trä, u.å.). Därför blir variation i fuktinnehållet i luften mer betydande för högre temperaturer. Överlag visar känslighetsanalysen att värdet för luftfuktigheten inte påverkar resultatet en betydande mängd på egen hand. Dock är känsligheten för hela systemet hög då flera parametrar, som bland annat luftflöde och verkningsgrad, också är baserade på uppskattningar.

Begränsningar

Samtliga beräkningar för energiförbrukning av ventilationsaggregat och lönsamhet bygger på diverse antaganden och avgränsningar. Vid beräkning av effektbehovet och energiförbrukningen antogs ett konstant luftflöde på 27 500 m³/h varje timme, hela året. Relativ luftfuktighet utomhus och inomhus antogs vara konstant 80% respektive 50%. Dessa antaganden gör att grafer för energiförbrukning inte blir fullkomligt representativ för Fyrishovs faktiska energiförbrukning. Likaså antogs verkningsgraden för ett nytt aggregat vara 0,9 och ett gammalt 0,4. På grund av bristande data antogs dessa värden, och bidrog därför till varför grafer för energiförbrukning ej är representativa för verkliga förhållanden. Då alla parametrar beräknades med samma formler och flera parametrar hölls konstanta, blir den resulterande energiförbrukningen endast beroende på verkningsgraderna av aggregaten. Trots antaganden bör slutsatsen vara densamma för den verkliga situationen på Fyrishov; ett gammalt aggregat har lägre verkningsgrad än ett nytt, och bör därför bytas för att effektivisera fastigheten.

Beräkningarna för lönsamheten bygger på energiförbrukningen och beror därför på samma antaganden. Detta innebär att resultatet för lönsamheten har en viss osäkerhet.

Referenser

- Almemark, M. Bergström, R. Fridén, H. Junestedt, C. Lindblom, J. Schmidt, L. Widheden, A. Röttorp, J. Enochsson, E. Engsner, M. Ekström, D. (2015). *Aktiva Badhus*. Svenska miljöinstitutet.
<https://ivl.divaportal.org/smash/get/diva2:1552404/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad: 2025-04-10)
- Asdrubali, F. (2009). *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778808002181> (Hämtad: 2025-04-18)
- Dimensionera. (u.å.) *Effekt*.
<https://www.dimensionera.se/ventilation/effekt.php> (Hämtad: 2025-04-23)
- Matplotlib. (u.å.) *Grouped bar charts with labels*.
https://matplotlib.org/stable/gallery/lines_bars_and_markers/barchart.html (Hämtad: 2025-05-16)

- Menerga. (u.å.). *Luftbehandlingsaggregat med motströmsvärmeväxlare*.
<https://www.menerga.com/sv/luftbehandlingsaggregat/byggnader-med-noll-energianvandning/nx-adconair-series/nx-adconair> (Hämtad: 2025-04-18)
- REC. (u.å.). *REC reder ut begreppen*. https://www.rec-indovent.se/wp-content/uploads/Varmevaxlare_REC-reder-ut_190227.pdf (Hämtad: 2025-04-19)
- SMHI. (u.å.). *Ladda ned väderobservationer*. <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/airtemperatureInstant/97510> (Hämtad: 2025-04-27)
- Smith, C. Löf, G. Jones, R. (1994). *Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X94905975?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=9411b95f9e4d2aa5 (Hämtad: 2025-04-16)
- Svenskt Trä. (u.å.). *Fuktkvot*.
<https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-fukt/> (Hämtad: 2025-05-19)
- Upplands Energi. (u.å.). *Elpriser*.
https://www.upplandsenergi.se/elavtal/53700.aktuella_elpriser.html (Hämtad: 2025-05-16)
- Yuan, X. Chen, Z. Liang, Y. Pan, Y. Jokisalo, J. Kosonen, R. (2021). *Heating energy-saving potentials in HVAC system of swimming halls: A review*. <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.its.uu.se/science/article/pii/S0360132321005904> (Hämtad: 2025-04-18)
- Personlig kommunikation*
Granberg, Kent, leverantör för Menerga. 2025-05-19.

Appendix

Kod för ventilationsberäkning

```
import csv
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Konstanter
V_ny = 27500/(60*60) # m³/s (nya aggregat klarar av luftflöden på 3300 - 27500 m³/h)
p = 1.225 # kg/m³
cp_air = 1.006 # kJ/kg°C
```

```

cp_vapor = 1.86 # kJ/kg°C
r = 2501 # kJ/kgC
#T_out = 8 # C
eff_new = 0.9
eff_old = 0.4
p_atm = 101325 # Pa

# Inomhusvärden
T_in = 30 # °C
fi_in = 0.50 # 50% luftfuktighet (RH)
p_sat_in = 4246 # Pa
p_vapor_in = fi_in * p_sat_in
x_in = 0.622 * p_vapor_in / (p_atm - p_vapor_in)
h_inside = cp_air * T_in + x_in * (r + cp_vapor * T_in)

def ventilation_energy(T_out, eff, fi_out=0.80):
    p_sat_out = 610.78 * 10**(7.5 * T_out / (237.3 + T_out)) # Uppskattning av
    # mättnadsångtryck
    p_vapor_out = fi_out * p_sat_out
    x_out = 1.1 * 0.622 * p_vapor_out / (p_atm - p_vapor_out)
    h_outside = cp_air * T_out + x_out * (r + cp_vapor * T_out)
    Q = (V_ny * p * (h_inside - h_outside)) / eff
    return max(Q, 0, x_out)

# Läser av csv-fil med temperaturer från SMHI
temperatures = []

with open('uppsalatemps.csv', 'r', encoding='utf-8') as file:
    reader = csv.reader(file, delimiter=';')

    for _ in range(12):
        next(reader)

    for row in reader:
        if len(row) > 2:
            try:
                temp = float(row[2])
                temperatures.append(temp)
            except ValueError:
                continue # Hoppa över tomma rader

# Beräknar energibehov

```

```

energy_per_hour_new = [ventilation_energy(T, eff_new) for T in temperatures]
energy_per_hour_old = [ventilation_energy(T, eff_old) for T in temperatures]

hours_per_month = [31*24, 29*24, 31*24, 30*24, 31*24, 30*24, 31*24, 31*24, 30*24,
31*24, 30*24, 31*24]

month_starts = [0] # strattimme för januari
for hours in hours_per_month[:-1]:
    month_starts.append(month_starts[-1] + hours)

month_labels = ['Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'Maj', 'Jun',
                'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Okt', 'Nov', 'Dec']

# Graf över effektbehovet
plt.figure(figsize=(12,6))
plt.plot(energy_per_hour_new, color='blue', linewidth = 0.8)
plt.plot(energy_per_hour_old, color='red', linewidth = 0.8)
plt.legend(["Nya aggregat", "Gamla aggregat"])
plt.title('Ventilationens effektbehov under år 2024')
plt.xlabel('Månad')
plt.ylabel('Effektbehov (kW)')
plt.grid(True)

plt.xticks(month_starts, month_labels)
plt.show()

# Beräkna differens per timme (i kW)
diff_kw = [ventilation_energy(T, eff_old) - ventilation_energy(T, eff_new) for T in
temperatures]

# Summera per månad och konvertera till kWh

def consumption(power):
    list = []
    for i, start in enumerate(month_starts):
        hours = hours_per_month[i]
        monthly_sum_kwh = sum(power[start:start+hours]) # kW * antal timmar = kWh
        list.append(monthly_sum_kwh/1000) # /1000 för MWh
    return list

monthly_savings = consumption(diff_kw)

```

```

monthly_consumption_new = consumption(energy_per_hour_new)
monthly_consumption_old = consumption(energy_per_hour_old)

plt.figure(figsize=(12,6))
plt.bar(month_labels, monthly_savings, color = "green")
plt.title("Energibesparingar per månad under år 2024")
plt.xlabel('Månad')
plt.ylabel("Potentiell energibesparing (MWh)")
plt.grid(True, axis = 'y')
plt.show()

# Plotta stapeldiagram över förbrukning
consumption_dict = {
    'Nytt aggregat': (monthly_consumption_new),
    'Gammalt aggregat': (monthly_consumption_old),
}

x = np.arange(len(month_labels))
width = 0.25
multiplier = 0

fig, ax = plt.subplots(layout='constrained')

for attribute, measurement in consumption_dict.items():
    offset = width * multiplier
    rects = ax.bar(x + offset, measurement, width, label=attribute)
    multiplier += 1

ax.set_ylabel('Energiförbrukning (MWh)')
ax.set_title('Energiförbrukning för aggregat under 2024', fontsize = 16)
ax.set_xticks(x + width, month_labels)
ax.legend(loc='upper right', ncols=3)
plt.tight_layout()

plt.show()

```

Kod för lönsamhet

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

consumption = np.linspace(0, 5000000/1000, 10000)
electricity_price = 0.60*1000 # kr/MWh
unit_price = 2150000 # kr
old_eff = 0.4

```

```

new_eff = 0.9

old_cost = []
new_cost = []

for i in range(len(consumption)):
    old_cost.append(electricity_price * consumption[i] / old_eff)

for i in range(len(consumption)):
    new_cost.append((electricity_price * consumption[i] + unit_price) / new_eff)

for i in range(len(consumption)):
    if abs(old_cost[i] - new_cost[i]) < 0.5:
        print(consumption[i])
        print()
        print(abs(old_cost[i] - new_cost[i]))
    else:
        continue

plt.plot(consumption, new_cost, color = "blue")
plt.plot(consumption, old_cost, color = "red")
plt.xlabel("Förbrukad energi (MWh)")
plt.ylabel("Pris (kr)")
plt.title("Lönsamhet av aggregat")
plt.legend(["Nytt aggregat", "Gammalt aggregat"])
plt.xticks(np.linspace(0, 5000000/1000, 11))

plt.tight_layout()
plt.show()

```