



CHALMERS

Undersökning av energianvändning i badhus

Optimering av luft- och vattenbehandling

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

Sebastian Andersson

Alexander Sjölund

INSTITUTIONEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Undersökning av energianvändningen i badhus

Optimering av luft- och vattenbehandling

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Sebastian Andersson
Alexander Sjölund

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2023

Undersökning av energianvändningen i badhus
Optimering av luft- och vattenbehandling

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Sebastian Andersson

Alexander Sjölund

© SEBASTIAN ANDERSSON, ALEXANDER SJÖLUND, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

SAMMANFATTNING

NYCKELORD: INSTALLATIONSTEKNIK, VÄRMEÅTERVINNING, ENERGIOPTIMERING, BADHUS, TRIKLORAMINER, PUMPEFFEKT, UTELUFTSFLÖDE

Huvudsyftet med badanläggningar är att besökare ska kunna besöka anläggningen och bada, träna, tävla eller lära sig simma. Det är en samhällstillgång som stödjer den sociala aspekten i hållbarutveckling. Ur ett energiförbrukningsperspektiv är badhus verksamheter den tyngst belastade i Sverige. Det är dyrt och energikrävande att driva ett badhus så att det uppfyller hygienkrav och är behagligt för besökare att vistas.

Rapporten kartlägger energiåtgången där ventilationen har stor påverkan på den totala energianvändningen med sina höga luftflöden med varm- och fuktigluft.

Energiåtgången för ventilationsbehovet kommer alltid vara hög men med hjälp av fältbesök och dialoger med experter så har slutsatsen blivit att bästa sättet att energioptimera badhus är att utveckla ventilationssystemet.

Ventilationen och vattenrening systemet samspelar, och för att minimera ventilationsflödet behöver badvattenkvalitén innehålla låga halter kloraminer för att det inte ska vara en hälsorisk för människan. Andra optimeringar för att minska energianvändningen är att placera badhus bredvid ishallar samt använda sig av solceller på taken och se till att man återvinna all energi innanför klimatskalet.

Investigation of energy usage in indoor public pools
Optimization of air and water treatment

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

Sebastian Andersson
Alexander Sjölund

© SEBASTIAN ANDERSSON, ALEXANDER SJÖLUND, 2023

Bachelor's degree ACEX20
Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

Department of Architecture and Civil Engineering
Installation technology
Chalmers University of Technology
412 96 Gothenburg
031-772 10 00

ABSTRACT

KEY WORDS: INSTALLATION TECHNOLOGY, HEAT RECOVERY, ENERGY OPTIMIZATION, INDOOR PUBLIC POOL, TRICHLORAMINES, PUMP POWER, OUTDOOR AIR FLOW

The main purpose of swimming facilities is to allow visitors to access the facility and swim, exercise, compete, or learn to swim. It is a community asset that supports the social aspect of sustainable development. From an energy consumption perspective, indoor swimming pools are the most demanding operations in Sweden. It is expensive and energy-intensive to operate a indoor swimming pool facility that meets hygiene requirements and provides a pleasant environment for visitors.

The report maps out the energy consumption, where ventilation has a significant impact on the overall energy usage due to its high airflow with warm and humid air. The energy consumption for ventilation needs will always be high, but through field visits and discussions with experts, the conclusion has been reached that the best way to optimize energy in swimming pools is to develop the ventilation system.

Ventilation and water treatment systems interact, and to minimize ventilation flow, the water quality must have low levels of chloramines to avoid health risks for humans. Other optimizations to reduce energy usage include placing indoor swimming pools next to ice rinks, use solar panels on the roofs and ensuring that all energy is recycled within the building envelope.

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	V
Förord	VI
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Mål.....	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Frågeställning	2
1.6 Metod.....	3
2 Teori.....	4
2.1 Energianvändning.....	4
2.2 Utformning av badhus	5
2.2.1 Historiskt byggande av badhus.....	5
2.2.2 Krav på byggnaden.....	6
2.2.3 Ventilation.....	6
2.2.4 Utformning av bassäng.....	7
2.2.5 Utformning av vattenrening.....	8
2.3 Förbättringsmöjligheter	9
2.3.1 Uppvärmning av luft.....	10
2.3.2 Reningsprocessen av bassängvattnet	10
2.3.3 Gråvattenbesparingar	12
2.3.4 Placering av utjämningsstank.....	13
3 Resultat.....	14
3.1 Platsbesök.....	14
3.1.1 Nya Åbybadet, Mölndal.....	14
3.1.2 Nolhaga parkbad, Alingsås.....	15
3.2 Placering av utjämningsstank.....	15
3.2.1 Metod/Arbetsgång	15
3.3 Uppvärmning av luft.....	17
3.3.1 Metod/Arbetsgång	17
4 Diskussion	20
4.1 Placering av utjämningsstank.....	20
4.2 Uppvärmning av luft.....	20
5 Slutsatser	22
6 Litteraturförteckning	23
BILAGA 1: Matlab kod	i
BILAGA 2: Diagram.....	iv

Förord

Detta arbete är det sista examinerande momentet på högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Det omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes med hjälp och handledning på avdelningen för VVS på Swecos kontor i Göteborg. Idén arbetades fram tillsammans med Fredrik Hansson på Sweco samt med stöd från examinator och handledare på Chalmers.

Vi vill rikta ett stort tack till Torbjörn Lindholm (internhandledare på Chalmers) och Anders Trüschel (examinator) för eran vägledning och stöttning genom arbetet.

Tack Sweco för att vi fick tillgång till era lokaler och interna dokument, men framför allt ett stort tack till Fredrik Hansson för den handledning och tid du lagt ner för att hjälpa oss. Utan dig hade arbetet inte sett ut som det gör idag!

Vi vill även rikta ett stort tack till

Johan Dahn, *driftekniker på Nohaga Parkbad i Alingsås*, Ludwig Nöjd, *projektansvarig för nya Åby badet i Mölndals kommun*, Sven Boethius, Peder Wallentin och Alexander Levinsson på SafeWater Scandinavia samt även Bernardus Zuijderwijk och Nathalie Enqvist på Göteborgs stad. Tack vare er hjälp fick vi möjligheten att komma ut på plats och se hur verkligheten fungerar. Ni har också bistått med material som annars varit svåråtkomligt och på så vis bidragit till arbetets väg framåt!

Till slut vill vi också tacka lärare, professorer, programansvariga och all annan personal på Chalmers som möjliggjort våra studier under dessa tre år.

Göteborg, Juni 2023
Sebastian Andersson
Alexander Sjölund

1 Inledning

Badhusanläggningar och simhallar är den idrottsverksamhet som kräver mest energi i Sverige för att uppfylla BBR-kraven (Sveriges kommuner och landsting, 2015). För att få besökare till verksamheten är termisk komfort en ledande faktor. Termisk komfort är främst kopplad till känslan av att känna sig varm eller kall och därför har vatten- och lufttemperaturen stor inverkan. Termisk komfort och god hygien jobbar dock emot varandra då vattnets temperatur korrelerar med ökat ångtryck och korrosion samt snabbare kemiska reaktioner och bakterietillväxt (Sveriges kommuner och landsting, 2015). Inomhusklimatet i badhus är komplex då det är många faktorer som påverkar och blir snabbt problematiskt då det finns krav på t.ex. att lufttemperaturen ska vara ca 2°C varmare än bassängen (Hansson, 2023) samt att relativa fuktigheten ska ligga mellan 50-60% så att avdunstningen inte blir för stor. Är den högre kan det skada konstruktionen, är den lägre så påverkar det termiska komforten (Holmberg, 2018).

De största energibelastningarna kommer ifrån ventilationen. Det är där förbättringspotentialen finns, men eftersom det finns hygienkrav som måste uppnås behövs stora ventilationsflöden för att ventileras bort föroreningar. För att sänka ventilationsflödet och luftomsättningar krävs då förbättring i vattenreningsprocessen som undersöks djupgående i rapporten.

1.1 Bakgrund

Energianvändning i badhus är hög året runt då det krävs stora uppvärmningar av både vatten och luft för att hålla ett behagligt klimat. Bassängvattnets temperatur ska vara 25-35°C, beroendetyper av bassäng. Stora mängder energi krävs för att värma vattnet. Avdunstningen går inte att undvika men det är viktig faktor att beakta så att den inte blir för hög/stor. Därför är det nödvändigt med luftbehandling som är i drift hela tiden (Menerga, u.å)

Badhusets klimatskal måste vara tätt. En liten glipa i klimatskalet kan släppa in stora mängder fukt under kortare tid (Högberg, 2018).

För att uppnå ett bra inomhusklimat i byggnaden behöver ventilationen vara väldimensionerad för att uppnå den luftkvalitén som krävs. Klorbassänger gör att Trikloramint förorenar luften och behöver ventileras ut. Det bör ske 4-5 luftväxlingar/h (Menerga, 2016) vilket medför stora luftflöden.

Förutom energin som går åt att värma vatten och luft, går det även åt energi att rena vattnet. Drivenergin i badhus är därför störst bland alla verksamhetsanläggningar.

För att nå rätt tillstånd på tilluften värms och avfuktas uteluften i luftbehandlingsaggregatet innan det tas in i byggnaden. Under höst, vinter och vår är uppvärmningen och avfuktningen av luften den största faktorn av energianvändningen. För att minska den energianvändningen används FTX-aggregat för att återvinna värme ifrån frånluften.

Trots denna återvinning har avluften under hösten och våren ändå en relativt hög temperatur. Dvs, mycket energi går förlorad av att det skickas ut. I dagsläget med dom höga elpriserna blir det både relevant och intressant att se över elförbrukningen och om den kan optimeras.

Badhus energiberäkningar är komplexa och ventilationen samspelar med vattenrening och vattenvärmen. En sänkning med 1°C, medför en energisparning på 5%

(Zuijderwijk & Enqvist, 2023). Ventilationens huvudsakliga syfte är att skapa termisk komfort genom att behålla temperaturen och fukthalten konstant i byggnaden samt ventilera bort hälsofarliga ämnen som trikloraminer. Med en optimerad vattenreningsprocess så kan ventilationsflödet minimeras eftersom mindre föroreningar produceras och mycket energi kan sparas. Många nya studier kring vattenreningsprocessen är i utvecklingsfas och i rapporten kommer några av dessa tas upp.

1.2 Syfte

Med vetskapen om global uppvärmning och de höga energikostnaderna, är det viktigt för alla människor att föra hållbarhetsutvecklingen framåt. All energibesparing och energiåtervinning som kan göras bör göras för att minska energibehovet ur hållbarhetsperspektiv. Med tanke på energipriserna gynnas alla ekonomiskt med en förminskad energiförbrukning, om inte investeringskostnaderna är för stora.

Syftet är att identifiera och presentera energianvändningarna för vatten- och luftuppvärmningen genom att studera de största energibelastningarna och vart de finns.

Energien som går åt för att rena vattnet ska också beaktas samt identifiera sambanden mellan vatten-, luftuppvärmning och reningsprocessen, för sedan studera olika alternativ för att optimera den totala energianvändningen för badhus.

Målet är att hitta olika alternativ som kan appliceras vid produktion av badhus som begränsar energiåtkomsten men inte ändrar upplevelsen av verksamheten, samtidigt som kraven uppfylls.

1.3 Mål

Målet med rapporten är att få en ökad förståelse över energianvändningen i badhus för att på bästa sätt se hur den kan optimeras. Genom att minska på energianvändningen kan även driftskostnaden och miljöpåverkan minska. Förhoppningen var att identifiera tekniska lösningar genom vilket det skulle bli möjligt.

1.4 Avgränsningar

Rapporten kommer inte behandla hur materialval eller konstruktion av klimatskalet påverkar energianvändningen. Inte heller människans påverkan genom alstring av värme och föroreningar kommer beaktas. Ekonomiska aspekter kommer inte beaktas men är en ledande faktor i verkligheten vid projektering av badhusanläggningar.

1.5 Frågeställning

Arbetet har utgått ifrån följande frågeställningar:

- Hur byggdes badhus förr? Vilka förutsättningar byggde man efter då?
- Vilka skillnader har uppstått med tiden och hur påverkar det?
- Hur ser energianvändningen ut idag?
- Vilka är dom största energislukarna?
- Kan man minska på energianvändning?
- Vilka hinder finns det som gör det svårt eller omöjligt att minska energianvändningen?
- Hur återvinner badhusenergi idag?
- Kan andra lösningar ge bättre återvinningsmöjligheter?

1.6 Metod

Arbetet bestod i första skedet av en litteraturstudie för att skaffa djupare kunskap om hur badhus fungerar samt dom faktorer som påverkar energianvändningen. Inga intervjuer genomfördes som en del av rapporten, dock blev experter rådfrågade som stöd till litteraturstudien.

Utöver litteraturstudien genomfördes platsbesök för att skaffa en utökad kunskap om hur det i verkligheten ser ut på badhus. Syftet med dessa var att ta del av driftteknikers erfarenhet samt samla in underlag i form av data från olika system.

Utifrån litteraturstudier, undersökningar och kontakt med experter kommer arbetet kolla djupare på bland annat en ny reningsteknik från Safewater Scandinavia som heter Redutri och hur det kan hjälpa energiförbrukningen i badhus. Redutri är ett nytt reningssystem som bryter isär kloraminer genom elektrolys och på så vis förhindra att Triklorammin bildas.

Syftet med litteraturstudien och platsbesöken var att identifiera olika förbättringsmöjligheter där det sedan fördjupades i två fall. Metoden för att ta fram resultatet redovisas under dom fall som beaktats, detta då tillvägagångssätten skiljer sig åt.

2 Teori

Badhus styrs av många olika parametrar som alla varierar med olika situationer samt påverkas av en rad olika förutsättningar. De flesta badhusen i Sverige använder fjällvärme som primära energikälla för uppvärmning medan reningsprocessens, pumpar och fläktar drivs av elektrisk energi. Nedan beskrivs de för detta arbete är relevanta för att få en förståelse för hur allting hör ihop.

2.1 Energianvändning

Energianvändningen varierar beroende på årstid och är starkt kopplat till utomhustemperaturen. Under sommarhalvåret är energikostnaderna mindre än hälften av vad den är under vinterhalvåret och är kopplat till lufttemperaturen och ventilationen.



Figur över hur energikostnaderna varierar över ett år på Angereds Bad och ishallanläggning

Fördelning av energi

De största energiförbrukningarna kommer från ventilationen, uppvärmning av vattnet och reningen av vattnet. Enligt energimyndigheten är det genomsnittliga energianvändning för badhus i Sverige 400kWh/m²/år (Energimyndigheten, 2022). Men det är en genomsnittlig siffra som oftast är högre i verkligheten. Tillgänglig statistik visar ett span på 365 – 800 kWh/m²/år.

Energifördelningen består av ca 60% fjärrvärme och 40% el (Belok, 2016). Enligt en undersökning om elanvändningarna i Nacka simhall så utgör fläktar 37%, pumpar 25%, kompressorer 20% och resterande 18% går till övrig el (Sjökvist, 2013). Detta betyder att ca 82% är energi som går till att värme samt möta kraven på ventilation och vattenkvalitén i Nacka simhall.

Energiförluster

Enligt rapporten ”Energieffektivisering av badhus” publicerad av Belok 2016 står transmission (värme som tränger sig ut ur klimatskalet) för ca 20% av energiförlusterna, avdunstning för ca 40%, ca 15% försvinner med spillvatten och 25% i ventilationen.

För att kunna energieffektivisera badhus måste det först undersökas vart överbliven energi alstras. Energi som vanligtvis går till spillo är i avluften, spillvattens temperatur, kvarstående värme ifrån bastu, värmealstring från exempelvis UV-rening och andra reningsmetoder som backspolning.

Energi kan inte bara försvinna utan ändrar sin form, dvs. man kan använda värmeenergin från utgående luft och vatten för att värma inkommande luft och vatten.

2.2 Utformning av badhus

Att bygga badhus blir alltid ett komplex projekt. Det ställs höga krav på allt från materialval till utformning av ytor och byggelement. Detta då det hårda inneklimatet för med en stor risk för att skador uppstår med tiden om det inte utförs på korrekt sätt. Genom att kolla tillbaka på hur man byggt förr går det att se hur utvecklingen av både teknik och byggmetoder bidragit till att livslängden för nyproduktion hållits inom samma längd trots en ökad belastning från ett förändrat inneklimat.

2.2.1 Historiskt byggande av badhus

Badhus från 50-60-70-talet är byggda på många liknade sätt som nybyggnationer idag. De äldre badhusen har historiskt sett haft en livslängd på 30–50 år, vilket nybyggnationer räknas att ha i även idag (Zuijderwijk & Enqvist, 2023). En av de större skillnaderna mellan äldre och nya badhus är hur de placeras i förhållande till andra verksamheter. Idag byggs badhus nästan alltid bredvid andra anläggningar, t.ex. en ishall, detta för att på ett bättre sätt ta tillvara överbliven energi som annars skulle gå förlorat. Exempel på det är bl.a. att överbliven värme från en ishall kan skickas till ett badhus samt att överbliven värme från badhus kan användas för att värma en ishall vid event (Dahn, 2023).

En annan skillnad är användningen av pumpar och fläktar, som har med tiden utvecklats och blivit mer energieffektiva. Bl.a. har verkningsgraden blivit bättre samt att man använder behovsstyrda fläktar och pumpar istället för strypta pumpar som man gjorde förr i tiden (Teräs, 2023).

Ytterligare en skillnad som kommit fram under arbetets gång är upplevelsen av hur badhus används idag jämfört med förr. Vid kontakt med olika aktörer kom det fram att man förr främst nyttjade badhus till simundervisning, medan idag är det mycket av en upplevelse. Vattentemperaturen låg därför förr på ca 22°C, som sedan dess gradvis har ökat och ligger idag på ca 30°C (Holmberg, 2018). Lufttemperaturen sattes på samma sätt som idag till ca 2°C varmare än vattnet. Detta har medfört ett ökat slitage då den varmare inomhusmiljö ökar bl.a. korrosion samt tillväxt av mögel och bakterier. Det innebär att livslängden i vissa fall kan vara lägre än det som projekterades för och ställer därför högre krav på underhåll och renovering.

Övriga förändringar jämfört med förr inkluderar:

Placering av duschutrymmen. Tidigare kunde duschutrymmen placeras så att gästerna inte nödvändigtvis behövde gå igenom det för att nå bassängen. Är duschutrymmen placerade så att man måste passera dem innan man kommer ut till bassängytan ökar det chansen att besökarna duschar innan de hoppar i vattnet (Hansson, 2023). Det är en viktig aspekt vid vattenrening då en oduschar gäst för med sig mycket mer smuts ner i vattnet.

Användning av FTX-system. Allt eftersom tiden fortgått har mer och mer teknik utvecklats, bl.a. ventilationssystem med värmeåtervinning, så kallade FTX-system. Det har möjliggjort ett minskat behov av uppvärmning och därför en minskad energianvändning.

Glipor i klimatskal och dålig konstruktion. För en hållbar anläggning behöver en längre livslängd och eftersom det är rikt på fukt i badhus kan mögelproblem uppstå

lättare och förstöra klimatskalet isoleringsförmåga, samt att konstruktionen blir svagare. För att inte det ska komma in fukt i takkonstruktionen, trycksätter man undertaket så att inte fukt som avdunstar från bassängerna in i takkonstruktionen.

2.2.2 Krav på byggnaden

Vid projektering av badhusverksamheter måste flertal krav ifrån olika håll uppfyllas. BBR ställer kraven på funktion, dessa omfattar bl.a. hälso-, utformning-, legionella- samt konstruktionsskarv (Boverket, u.å). Utöver kraven från BBR måste även Folkhälsomyndighetens allmänna råd om bassängbad följas (Folkhälsomyndigheten, 2021) samt arbetsmiljöverkets regler om exponering av kloraminer i badhus (Arbetsmiljöverket, 2021). För att bedriva tävlingssim i badhusverksamheten finns det krav på konstruktionen av bassängen samt vattentemperaturer.

2.2.3 Ventilation

Ventilationen i badhus ska dimensioneras för att klara av kraven på luftflöde, hantering av föroreningar och även bibehålla ett behagligt inneklimat för besökarna (Folkhälsomyndigheten, 2021). Då aktiviteten i ett rum styr hur mycket ventilationsaggregaten måste klara av är det viktigt att se över hur verksamheten fungerar och utvecklas med tiden. T.ex. går det inte att installera ett äventyrsbad i ett badhus utan att först sett över om aggregaten klarar av att hantera det. Vilka belastningar som ska hanteras uppkommer från mängden människor, bassänger och vilken typ av aktivitet som förekommer

Komponenter

Aggregaten består av olika komponenter vars syfte är att behandla luften till det önskade tillståndet innan det förs vidare in i byggnaden (Warfvinge & Dahlblom, 2017). Av dessa är värmeväxlare en av det viktigaste ur energisynpunkt då den möjliggör en återvinning av värme med eller utan fukt. Utan värmeväxling blir det bara värmebatteriet som tempererar luften och energiåtgången blir många gånger högre.

Det finns olika typer av värmeväxlare för luftbehandling, varav den vanligaste är roterande värmeväxlare (regenerativa växlare) (Warfvinge & Dahlblom, 2017). Där passerar frånluften tunna skivor av aluminium som tar åt sig värmen, dessa roterar sedan över till tilluftssidan så den värms. Detta medför dock en risk att föroreningar eller fukt följer med.

Det går inte se till att en roterande växlare endast för över värme och för bad/simhallar blir det därför inte aktuellt med regenerativa värmeväxlare. I stället används rekuperativa värmeåtervinningssystem, en lösning som gör det möjligt att endast värmen (sensibel energi) överförs vid återvinning (Warfvinge & Dahlblom, 2017).

Luftkvalité

För att uppehåll en god kvalité på luften i ett badhus bör det ske 4 – 5 luftväxlingar i timmen, det för dock med sig att luftflödet blir väldigt högt. Ett aggregat som försörjer ett utrymme med endast en 25 meters motionsbassäng ligger på ca 10 000 m³/h och aggregatet har en verkningsgrad på 70% (Göteborgs stad, 2023). Anledningen till höga flöden är att föroreningar och fukt som bildas måste föras bort och ut ur byggnaden för att förhindra skador på personer och lokalen (Menerga, 2016). Föroreningar som uppstår i badhus är bl.a. triklorammin (betecknad NCl₃). En förening mellan kväve och klor som uppstår när gäster för med sig hud, urin och svett

i vattnet (Arbetsmiljöverket, 2021). Det är en korrosiv, hälsovådlig gas och även det som ger badhus den typiska doften av klor (We Group, 2023) (Sveriges kommuner och landsting, 2015). Hälsomässigt irriterar den slemhinnor och kan orsaka eksem samt andningsbesvär. Byggnadstekniskt ger den upphov till skador på fastigheten, installationer och teknik främst i form av rostangrepp (Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019).

Studier kring hälsopåverkan visar varierande resultat och risken att utveckla astma som följd av långvarig exponering av NCl_3 eller inte är osäker. Nordiska Expertgruppen publicerade 2019 en studie om hur kloraminer (mono-, di- och trikloramin) påverkar hälsan hos bl.a. badhuspersonal (Nordiska Expertgruppen (NEG), 2019). Deras slutsats är att astmatiker kan uppleva förvärrade symptom vid exponering, men att det inte finns tillräckligt med underlag för att säkert se en ökad risk att utveckla astma. Forskare vid Lunds universitet publicerade dock 2012 en studie som visade att exponering av kloraminer utgör en riskfaktor till att utveckla astma (Romberg, Tufvesson, & Bjermer, 2012). Även en studie från 2009 visade på ett samband mellan frekvent exponering av klorerat vatten och astma (Bernard, Nickmilder, Voisin, & Sardella, 2009).

Byggnadstekniskt skapar den höga värmen, fukttinnehållet och relativa fuktigheten i luften, tillsammans med ämnen som klorider, ett korrosivt klimat (Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019). Det kan föra med sig problem med rostangrepp i ventilationssystem då många delar (ibland hela systemet) består av stål. Även rostfritt stål påverkas, där ett exempel finns från Nohaga Parkbad i Alingsås. Där gjorde förhöjda nivåer trikloramin så att stålramen runt en utsiktspunkt rostade och fick bytas efter några månader. En åtgärd som normalt inte behövs efter flertalet år.

Att hantera trikloramin är dessvärre besvärligt, ett sätt är att låta tilluften helt bestå av uteluft och på så sätt hålla nivåerna nere. Det skulle dock medföra höga uppvärmningskostnader under kalla delarna av året. Förutom att det skulle bli dyrt är NCl_3 tyngre än luft och skapar därför en ansamling vid vattenytan om bassängen utformats likt en skål där golvet är högre upp (af Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019). I dessa fall ställs det högre krav på att ventilationen utformas med tillufts don så att luften strömmar över vattenytan. Det är dock något man vill undvika då det skapar en ökad avdunstning.

En lösning på problemet är att tilluftsdonen placeras längst med bassängen och frånluftdonen uppe i taket. På så sätt skapas ett undertryck vid taket så luften rör sig uppåt och tar med sig föroreningar ifrån bassängen. Ytterligare en lösning vore att placera vattenytan ovanför golvnivå, på så sätt uppstår inte samma ansamling (af Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019).

Luftfuktighet

Luftfuktigheten i badhus ska ligga på 50-60% i relativ fuktighet (Belok, 2016), vilket är ett väldigt fuktigt inomhusklimat jämfört med andra verksamheter. Det medför dock ett övertryck i badhuset vilket ökar risken för konvektion. Drivkraften för konvektion är tryckskillnader och eftersom man inte vill att fukt ska transporteras in i konstruktionselement så trycksätts undertaket. Detta för att konvektionen genom taket ska förhindras (Johansson & Selenius, 2021).

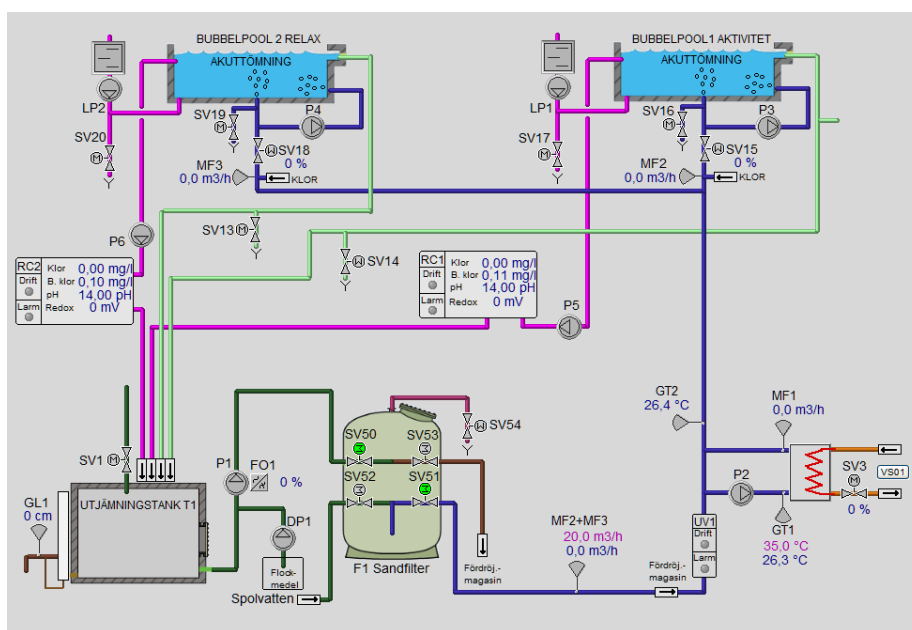
2.2.4 Utformning av bassäng

Det finns olika typer av utformningar på simbassänger. Utformningen ser olika ut beroende på funktionen av bassängen. Det mest förekommande bassängerna är 25m-

bassänger som används till motion, träning och tävling (Wikenståhl, 2012). Bassängerna är dimensionerade efter tänkt funktionsområde, så barnbassänger är t.ex. grundare och varmare. Äventyrsbad blir mer komplicerade då utformningen av dessa kan varieras i större utsträckning än vad t.ex. en motionsbassäng kan.

2.2.5 Utformning av vattenrening

Reningsprocessen av bassängvatten är en stor del av badhusverksamheten. Utrymmet för reningsprocessen varierar, men utifrån våra upplevelser av platsbesök så kan man säga att de är ungefär samma area som besöksytorna i verksamheten och placerade i källarplan. Utformningen av processen varierar också med olika komponenter och olika reningssteg. Men generellt sätt så fungerar reningsmetoderna på liknade sätt. Inkommande vatten fyller upp bassängen konstant och de vatten som rinner över bassängkanten åker ner till en utjämnings tank. I utjämnings tanken samlas vatten för att sedan filtreras genom kol- och sandfilter (och i vissa fall även gå igenom ett UV-filter och ytligare klorering) där vattnet renas ifrån bakterier och virus. Det rena vattnet fortsätter tillbaka in i bassängen och skapar cirkulation på vattnet. Det smutsiga vattnet (avblödningsvattnet) åker ut i avloppssystem. I samband med denna process tillkommer även nytt 5 gradigt vatten ifrån VA-ledningarna som värms upp och kloreras för att sedan fylla upp vattnet i bassängen.



Bilden tagen ifrån Angered's Arena och är ett alternativ för hur reningsprocessen ser ut för bubbelpooler. FOTO: Skärmbild från övervakningssystemet, tillhandahållet av Göteborgs stad.

Systembilden är missvisande och i verkligheten ser det mer komplex ut som bilderna nedan (som är tagen ifrån Nohlagabadet i Alingsås). Det är ett flertal sandfilter, kolfilter och UV-reningskomponenter som samspelar, men den förklarar principen. I Nohlagabadet så finns det flertal mätare som mäter vattenkvaliteten och meddelar om exempelvis pH-värdet eller klorhalt förändras och går utanför riktvärdena.



Bilder från teknikrum Nohaga parkbad i Alingsås. FOTO: Sebastian Andersson.

Vattenkvalité

Det finns krav på vattenkvalitén i badhus, de mesta kraven är kopplade till hälsa och hygien. Klor är skadligt för människan när den omvandlas till gas (Trikloraminer) då den är irriterande för slemhinnor och kan orsaka skador på lungorna, bl.a. visat forskning på en ökad risk av astma (Romberg, Tufvesson, & Bjermer, 2012).

2.3 Förbättringsmöjligheter

Det finns en generell förbättringspotential för att minska energianvändningen i badhus. Med den tekniken som finns i nuläget kommer badhus alltid ha hög energianvändning för att klara hygienkraven samt uppfylla termisk komfort.

Målet är att minimera energiförbrukningen och försöka ta vara på all överbliven energi. Det är en utmaning då energin man vill ta vara på är värmeenergi för att värma exempelvis bassängvattnet till 28-32°C. Det betyder att överbliven värme behöver vara över 32°C för att inte värmepumpen behöver inkluderas.

Eftersom det inte finns något spillvatten eller annan värmeenergi som är högre än vattentemperaturen i bassängerna behövs en extern värmekälla användas. Vanligtvis används fjärrvärme.

Överbliven värme kan hämtas ifrån gråvattnet, frånluften, backspolning och värmealstring ifrån motorer som pumpar, UV-rening mm. Energin man kan hämta ifrån överbliven värme kan användas till att förvärma vattnet/ventilationen innan så energikrävande värmekällor används.

Simhallar kräver stora mängder värmeenergi i sin drift. Det finns alternativ där man placerar en ishall bredvid badhuset för att återvinna värmeenergin ifrån ishallen till simhallen.

En väl utformad reningsprocess kräver energi för att bedriva UV-reningar, pumpar och uppvärmning av vattnet. Tvättar sig besökarna noggrant innan bassängbad behövs det mindre rening. ”Det går inte att kontrollera alla besökarna att de tvättar sig noggrant eller tvättar sig överhuvudtaget innan de går in i bassängen” säger Fredrik Hansson handledare på Sweco. Konstruerar man badhusen så man måste gå igenom dusch innan man går in i bassängutrymmen, ökar chansen att besökare duschar och minskar bakterietillförseln i bassängen.

2.3.1 Uppvärmning av luft

Ett intag av uteluft är ett måste så att föroreningar och fukt som alstras i en byggnad inte blir kvar. I badhus handlar det om att kontrollera den relativa fuktigheten (RF), alstrad koldioxid från gäster och arbetare, samt föroreningar som kloroform och kloraminer (Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019). Mängden luft som behövs styrs därför utifrån antalet gäster och hur mycket aktivitet det är i bassängerna.

Luften utifrån måste behandlas och då främst för att nå rätt temperatur, men i vissa fall även RF. I Sverige uppmättes kallaste utetemperaturen 2022 till $-38,7^{\circ}\text{C}$ (SMHI, 2022) vilket är en skillnad på $68,7^{\circ}\text{C}$ till badhus normala innertemperatur på 30°C . Även med värmeåtervinning krävs det alltså mycket energi för att skapa en behaglig miljö för badande gäster.

En teknik utvecklad av SafeWater Scandinavia tillsammans med forskare på Chalmers tekniska högskola är REDUTRI (Safewater Scandinavia AB, 2023a). Det är en ny teknik för vattenrening som använder elektrolys för att bryta isär kväve och klorjonerna. Eftersom både mono- och dikloramin är vattenlösliga kan dessa brytas ner till kväve och klor innan trikloramin kan bildas.

Tekniken används idag i flera verksamheter där fallstudier genomförts på tre utav dom (Safewater Scandinavia AB, 2023a). Resultatet av dessa visade att det går att minska nivån av trikloramin på upp till 75% då det används som ett tillägg till den befintliga reningstekniken.

Med en minskad halt i luften krävs det mindre uteluft för att kontrollera nivåerna och då minskar energikostnaden för uppvärmning.

Mätning av trikloramin

Folkhälsomyndigheten kom 2021 med nya riktlinjer för mängden trikloramin, där det nya värdet sattes till $0,2 \text{ mg/m}^3$ (Folkhälsomyndigheten, 2021). Innan en teknik som Redutri installeras bör det först genomföras mätningar för att se hur behovet ser ut. Mätningen utförs på luften och det finns två tillvägagångssätt för att samla in prover, samt två metoder för att analysera proverna (SafeWater Scandinavia, 2023b). För att samla in ett prov mäter man antingen ovan vattenytan i badhuset eller genom att ta ett vattenprov som sedan analyseras i ett tätt kärl. Genomförandet är lika i form av att luft pumpas genom ett filter på ett flöde om 1,5 liter per minut under 45 minuter. Att göra det direkt ovan vattenytan eller i en separat behållare ligger i att en separat behållare kan minimera yttrepåverkan.

Analysen av proverna genomför på ett av två sätt, den första använder en metod som bygger på fotometri och den andra jonkromatografi (SafeWater Scandinavia, 2023b). Skillnaden mellan metoderna ligger i hur koncentrationen bestäms. Metoden med jonkromatografi tar reda på mängden/antalet uppfångade partiklar i ett prov och måste genomföras med speciell utrustning som kräver att det skickas till ett laboratorium. Det andra alternativet med fotometri är en portabel analysmetod som därför är lättare och snabbare att genomföra än jonkromatografi. Den analyserar genom att provet färgas med reagenskemikalier, mängden uppfångade partiklar bestämmer hur mycket färg som binder. När provet sedan belyses kan mängden ljus som passerar mätas och på så vis fås ett värde på nivån.

2.3.2 Reningsprocessen av bassängvattnet

Människor avger sig miljontal mikrobiologiska organismer och visa parasiter i form av vätskor som saliv och svett men även bakterier som finns på huden (Sveriges

kommuner och landsting, 2015). När huden kommer i kontakt med vattnet försämras hudens skydd mot infektioner. Om man tvättar sig innan bassängbad minimeras bakterietillförseln till bassängen (WHO, 2006). Det går inte att bortse ifrån att vattnet blir kontaminerat med huvavlagringar, saliv och fekalier från människor. Därför behövs det renas kontinuerligt med hjälp av ett cirkulerande system. För att vattnet ska renas filtreras det genom ett sandfilter. Det finns öppna och slutna sandfilter, öppet sandfilter ger bättre vattenkvalité men behöver större mängd vatten för backspolning (Sjökvist, 2013).

Backspolning

Eftersom det är stora flöden vatten som går igenom kol- och sandfiltren så kan det täppas igen med beläggningar som måste rengöras 1–3 gånger i veckan, beroende på hur mycket som fastnar i filtren. Beläggningar som fastnar gör att filtrera tappar sin funktion och effektiviteten att filtrera bort parasiter som cryptosporidium.

Backspolning är när vatten spolas ifrån bassängerna motsatt håll för att ta bort beläggningarna som fastnat på filternerna för att sedan transporteras ut i avloppsledningarna. Backspolningsprocessen gör att mycket varmt vatten går till spillo men är ett måste för att verksamheten ska vara aktiv. Backspolningen pågår i ca 10 minuter med stora flöden säger Johan Dahl, drifttekniker på Nolhagabadet. Johan förklarar också att det är svårt att återvinna värmeenergi ifrån backspolningen eftersom det är stora flöden.

Ett alternativ är att återvinna vattnets värmeenergi efter backspolning. Då krävs investering som inte är så lönsam ur ett större helhetsperspektiv. Tvätta sig noggrant innan bad är den största besparingens möjligheten då backspolning inte behöver utföras lika ofta. Men det sätter krav på besökarna vilket är svårt att kontrollera.

Enligt Patrik Samuelsson har Navet i Umeå har lyckats återvinna upp 70% av backspolningsvattnet genom att använda värmeenergin från backspolningen till att värma upp luften i badanläggningen (Berlin, 2021).

Fredrik Hansson på Sweco förklarar hur utformningen och placeringen av duschutrymmen i omklädningsrummen är en faktor. Han menar på att om besökarna är tvingade att gå igenom duschutrymmet för att komma ut till bassängutrymmena är det större sannolikhet att besökarna tvätta sig innan bad.

UV-ljus

UV-ljus är en komponent som i de flesta badhus är med i vattenreningsprocessen. Det är en liten komponenten relativt till resten av reningssystemet och fungerar genom fotokatalys för att förstöra cellkärnan i virus (Rutqvist, 2016). Energin i UV-komponenten har hög effekt och därför är en energikrävande process.

UV-ljus tar bort bakterier, protozoer och vissa virus (Rutqvist, 2016). UV-processen är en reningsslag i slutskedet av reningssystemet och används för att kompensera för de föroreningsämnen som gått igenom föregående processer som sandfiltret.

Även om UV-processen är en energikrävande process så är den väsentlig för att inte föroreningsämnen inte ska frigöras i bassängerna och påverka besökarnas hälsa.



En av tre UV-reningar på Nolhaga Parkbad i Alingsås. FOTO: Sebastian Andersson.

Ett alternativ till UV-ljus är synligt blå-violett ljus med våglängd 405 nm. Det fungerar liknade UV-ljus vars våglängd ligger mellan 100-400nm. Det blå-violetta ljuset bryter ner mikrobiella organismer så våglängderna träffar porfyrinmolekyler i bakterien och bryter ner den från insidan (Klintberg, Björk, & Gudmundsson, 2019). Tekniken testades av Teknikmarknad där det framkom att 75% av bakterien lösningen E.coli dödades under 2 timmar. Tekniken är ny och behöver mer forskning hur det påverkar människan, men skulle kunna appliceras i simhallar genom lampor i taket med blå-violett ljus under nattetid eller dagtid för att minimera reningsprocessen och spara energi. Energieffektiviteten och människans påverkan behöver vidare forskning.

2.3.3 Gråvattenbesparingar

Gråvatten är det spillvatten som kommer ifrån duschar och handfat. Detta spillvatten som rinner ut i avloppet är tempererat och värmeenergi kan utvinnas ur med värmeväxlare. Det finns olika typer av processer för gråvattenbesparingar, men principen är den samma. Varmt spillvatten transporteras i rör som överför värmeenergi till inkommande vatten. Spillvattnet är inte i kontakt med inkommande vatten.



Nolhagabadets system för värmeåtervinning av gråvatten. FOTO: Sebastian Andersson.

Tekniken är ett enkelt sätt att bespara värmeenergi, problematiken med tekniken är att det tar utrymme och det är relativt små energivinningar ur ett badhusperspektiv. Enduce är en nyteknik där processen sker direkt i golvbrunnarna vilket underlättar för

utrymmes problematiken samt har en energiåtervinning på 75% (Enduce , 2023). Det är en teknik som kan implanteras i nyproduktioner av badhusaläggningar.

2.3.4 Placering av utjämningsstank

Utvämningsstanken är den tank dit vattnet från bassängen kommer då vattennivån höjs, antingen som följd av rörelse eller ett ökat antal besökare i bassängen. Genom att minska avståndet mellan vattennivån på utjämningsstanken och ytan på bassängen kan pumpens energibehov reduceras. Vattennivån i utjämningsstanken förändras beroende på hur mycket vatten som svämmas över.

Att ändra om befintlig utjämningsstank i en badanläggning är svårt då det medför höga kostnader. Det skulle också innebära att onödigt med material går åt om det genomförs innan livslängden på byggnaden är uppnådd. Ur ett energiperspektiv kommer det då inte bli en minskning av energi då systemen är komplexa och stora förändringar hade behövts.

Vid nyproduktion kan man ha placeringen i åtanke för att spara på energi. Efter pratat med Ludwig Nöjd om Nya Åbybadet, menar han på att projekteringen har kompenserats så mycket som möjligt. Men största utmaningen är att få plats med allt.

3 Resultat

I tidigare kapitel presenterades dom förbättringsmöjligheter som tagits fram. Utav dessa studerades två djupare där uträkningar genomförts för att ta fram vilka mängder energi som skulle gå att spara.

Utöver det presenteras även platsbesök genomförda i samband med arbetet. Det är bl.a. genom dessa några utav förbättringsmöjligheterna identifierats.

3.1 Platsbesök

Arbetet inkluderade besök på badhus och gav en inblick i hur tekniska system upprättats samt hur olika energibesparande lösningar implementerats. Det blev också en möjlighet att träffa driftstekniker för att ta del av deras erfarenhet kring energianvändning.

Totalt sett genomfördes tre platsbesök och möjliggjordes genom stöd från Civilingenjör Torsten Janssons stiftelse. Två av besöken redovisas i detalj nedan där det oredovisade besöket var till Angered arena tillsammans med Göteborgs stad.

3.1.1 Nya Åbybadet, Mölndal

Nya Åbybadet är en nybyggnation i Mölndals kommun. Besöket dit genomförandes för att beskriva hur man tänker när man bygger badhus idag. Badet beräknad till en area på 9669 m² (Nöjd, 2023). Uppgifterna kommer ifrån Andersson och Hultmark som har gjort energibalansberäkningen.

Badhuset använder sig utav 6st FTX-aggregat (FlexoPool) med en avfuktningfunktion till de våta utrymmena. De torra utrymmena används 4st IV-aggregat utan avfuktningfunktion. Det antagna luftflödet för alla aggregaten är 4000 l/s där värdet är baserat på ett snitt från personalbelastningen och en maxbelastning på 1100st personer.

Drifttiden för aggregaten är antagna att vara med 100% drift mellan 06:00-24:00, och resterande tider är driften antaget till 80%. Primär värmekälla som kommer användas är fjärrvärme.

Badhuset byggs intill en ishall och sporthall för att energioptimera anläggningarna. För att behålla kylan i ishallen, används spillvärme till uppvärmningen av badhuset. Samarbetet mellan ishallen och badhuset fungerar som ett stort värmebatteri. På anläggningarna sitter det solceller som kan producera upp till 500 000kWh och fördelar det till de olika anläggningarna. Samarbetet mellan ishall och badhus gör att solceller används mer effektivt året om, då badhuset har uppvärmningsbehov på vinter och ishallen har kylbehov på sommaren.

För att ta vara på gråvattnet ifrån duscharna så används gråvattenväxlare där spillvattnet åker ifrån brunnarna till en värmeväxlare som värmer upp inkommande vatten.

Det finns golvvärme i omklädningsrum och duschområden för termisk komfort samt att avdunstning ska ske och minska halkrisk.

3.1.2 Nolhaga parkbad, Alingsås

Johan Dalh (drifttekniker) visade oss runt i lokalen, både fläktrum och vattenreningsrummet. Han förklarade hur de jobbade med energifrågor. Delvis ska det byggas en ny ishall intill simhallen för att precis som i Nya Åbybadet optimera energiförbrukningen. Johan berättar att värme från badhuset används i rivningsprocessen av ishallen för att smälta isen i den gamla ishallen.

Han förklarade att intaget av vatten i bassängerna görs i bassängbotten för att minska stighöjden. Något som Johan ansåg vara sämre med byggnaden var att uppsamlingstanken hade man kunnat sätta närmare bassängbotten för att minska energi som pumpen kräver för att pumpa upp vattnet.

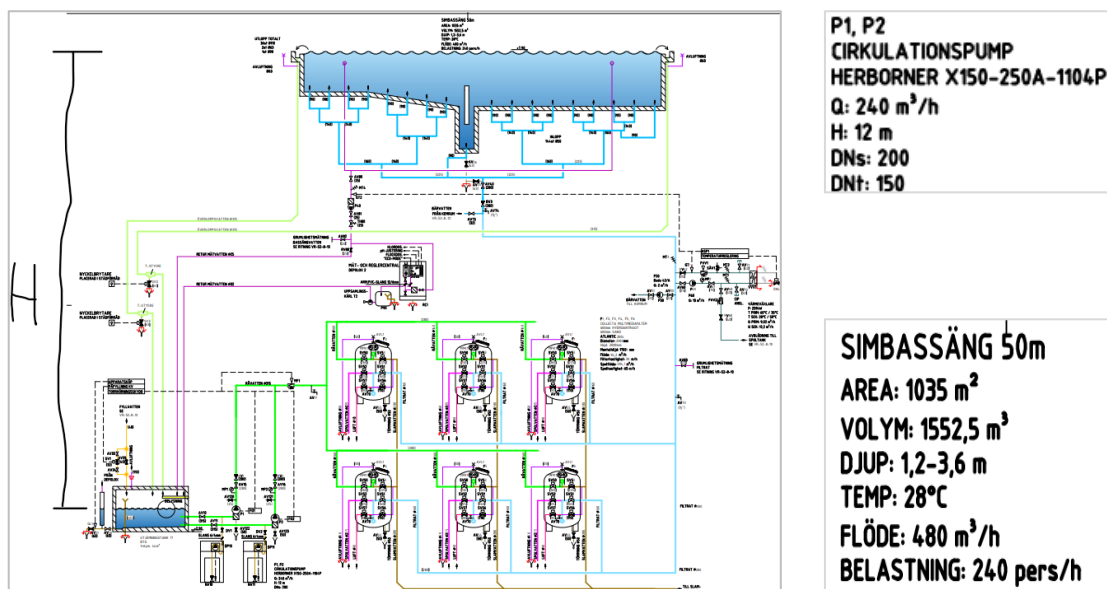
Vi fick se slutna sand och kolfilter samt hur det sett ut innan med öppna sandfilter. De öppna sandfiltren bytes ut för att spara plats. Vi fick också se den nya reningstekniken Redutri. Samt UV-ljus som krävde mycket energi.

3.2 Placering av utjämningsstank

Idén till att undersöka hur nivåskillnaden påverkar effektbehovet kom av driftteknikern på Nolhaga Parkbad. Enligt honom skulle en besparing på runt 10 000 kWh/år vara möjligt för en bassäng på 300m³ om man minskar nivåskillnaden mellan bassängen och utjämningsstanken 1dm.

3.2.1 Metod/Arbetsgång

Energien som sparas genom att minska nivåskillnaden kan beräknas genom pumpens effekt. Pumpeffekten P blir ca 4,1kW och beräknas med ekvation (1).



Systembild över vattenreningen i Nya Åbybadet i Mölndal

Utjämningsstanken har en volym på 44m³ och vattennivån kan förändras med 1 meter från tom tank till full tank. Detta betyder att nivåskillnaden kan variera mellan 4,5m till 5,5m mellan ytan i utjämningsstanken och ytan i bassängen. För beräkningens skull används ett medelvärde på 5m i nivåskillnad.

$$P = Q * h * g * \rho / \eta \quad (1)$$

Vattenflöde, $Q = 240 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0667 \text{ m}^3/\text{s}$

Uppfodringshöjd, $h = 5 \text{ m}$

$g = 9.82 \text{ m/s}^2$

Densitet vatten, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Verkningsgrad pump, $\eta = 80\%$

För pumpen blir då:

$$P = (0.0667 \text{ m}^3/\text{s} * 5 \text{ m} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 1000 \text{ kg/m}^3) / (0.8) = 4087,5 \text{ W} = 4,1 \text{ kW}$$

Drifttiden på pumpen är alltid på men jobbar med olika flöden beroende på vattenkvalitén (Enviroprocess, 2020). Verkningsgraden för pumpen varierar mellan 75-80% beroende på flödet som går genom pumparna.

För att utföra beräkningen antar vi att vi har en drifttid på 20h med maxflöde:

$$4,1 \text{ kW} * 20 \text{ h} = 82 \text{ kWh/dag vid en nivåskillnad på 5m.}$$

Diagrammet nedan visar kWh/dag i relation till nivåskillnad mellan utjämningsstanken och bassängen.

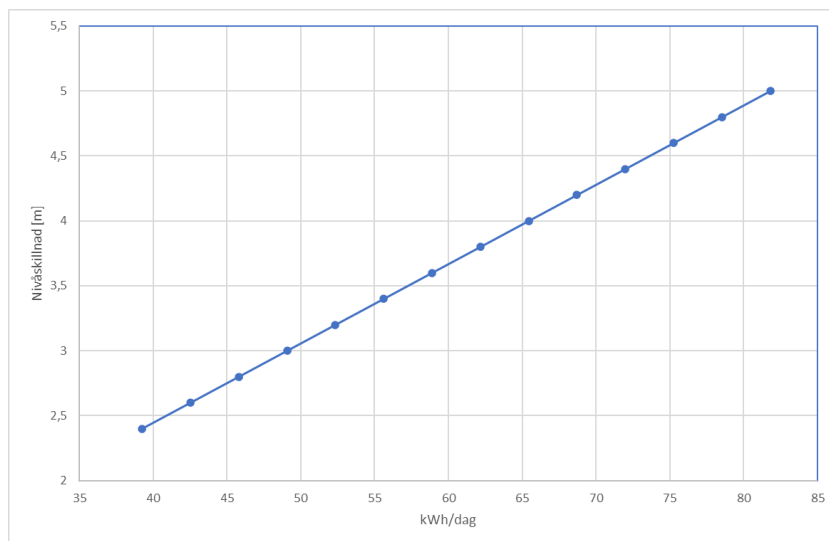


Diagram som visar energianvändningen gentemot nivåskillnader

En förkortning av nivåskillnaden på 1m skulle då ge en besparing på 5970kWh per år.

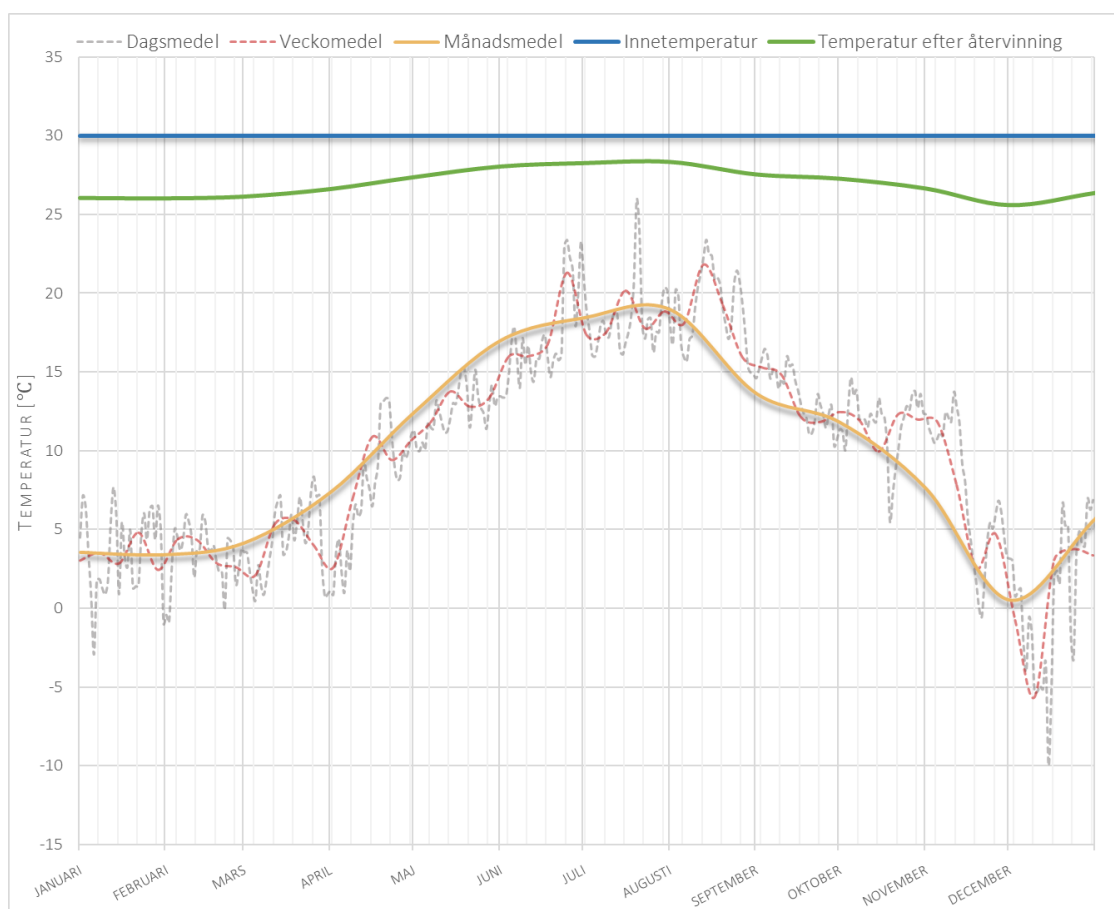
3.3 Uppvärmning av luft

För att minska uppvärmningen studerades effekten av en ny vattenreningsteknik kallad Redutri. Som nämnt tidigare i kapitel 2.3.1 minskar uppvärmningsbehovet av luften om trikloraminnivån sänks.

För att ta fram hur energibehovet kan minska har alstring och avgivning utav trikloraminnivån relaterats till luftflöde som sedan använts för att se hur uppvärmning minskar.

3.3.1 Metod/Arbetsgång

Figuren nedan visar hur temperaturen varierade i Göteborg under 2022. Den visar även önskad innetemperatur på 30 grader och temperaturen på tilluften efter värmeåtervinning.



Ytan mellan det blå och gröna strecket motsvarar energibehovet (Warfvinge & Dahlblom, 2017) för ett badhus i Göteborg där innetemperaturen ska vara 30°C och värmeåtervinningen är 85%. Ett sådant diagram blir svårt att tyda och därför användes istället varaktighetsdiagrammet i bilaga 1 för att ta fram gradtimmar.

Energibehov vid uppvärmning av luft under ett år gavs av ekvation (3).

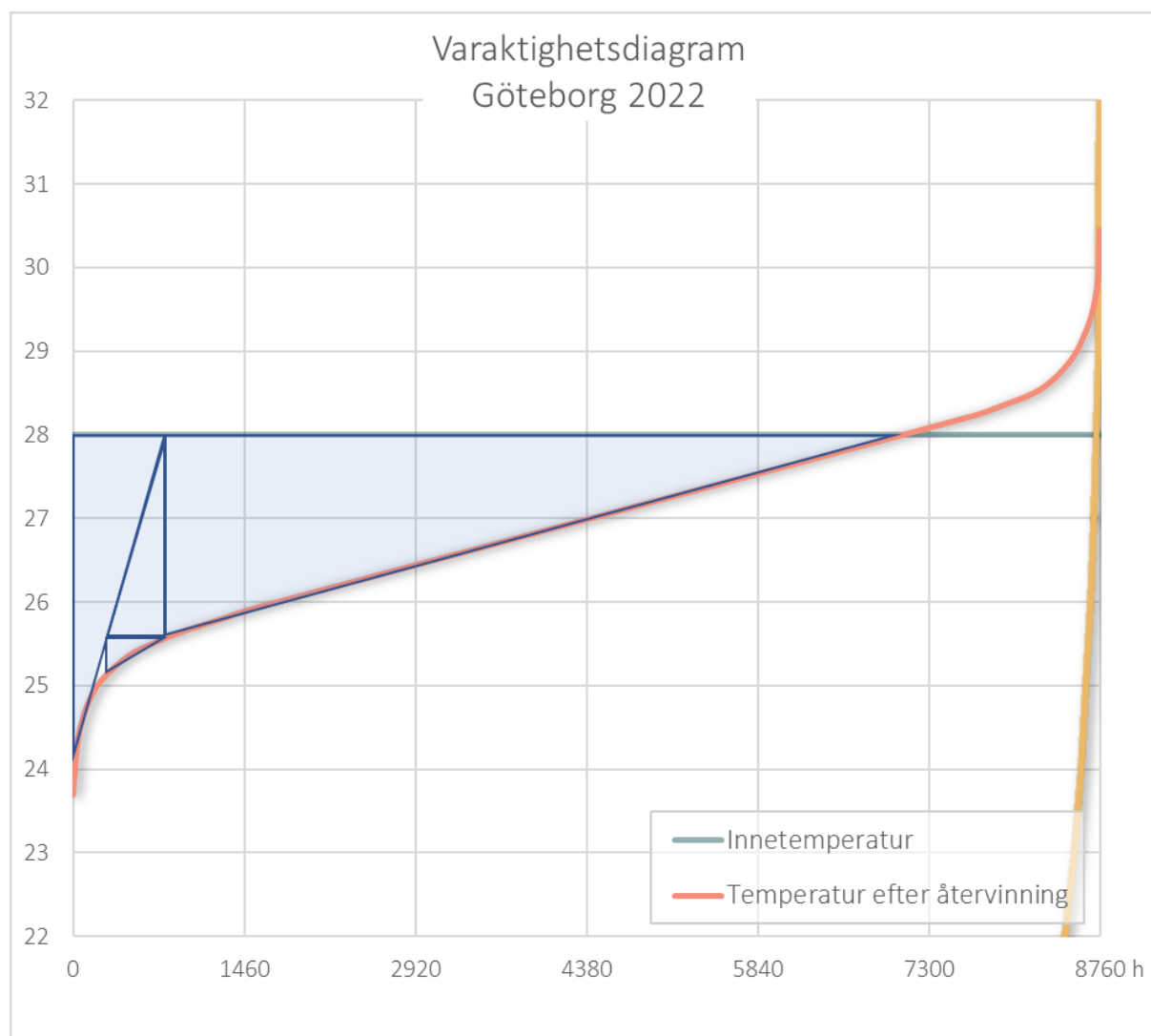
$$E_{uppv} = Q_{tot} * Gt \quad (3)$$

Q_{tot} , specifik effektförlust

Gt , gradtimmar

Effektförlusten, Q_{tot} , kan ses som effektbehovet för att värma luften en grad och beror av styrt luftflöde, q_v , oavsiktligt luftläckageflöde, q_{ov} och transmissionsförluster.

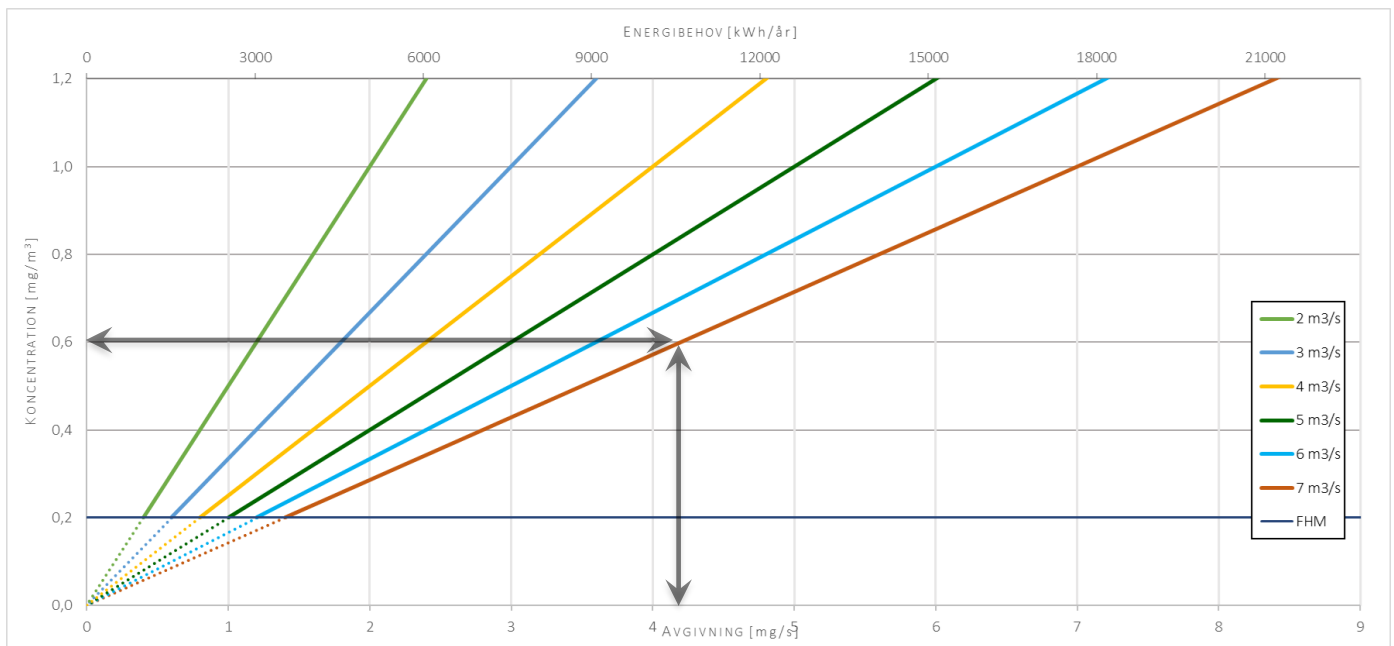
Gradtimmar gavs av varaktighetsdiagrammet nedan och beräknades genom att summera ytorna av dom blå triangelarna.



Med ekvation (3) blev då energibehovet per flöde:

Flöde [m ³ /s]	7	6	5	4	3	2
Energibehov [kWh/år]	21 158	18 135	15 113	12 090	9 068	6 045

Figuren på nästa sida visar hur koncentration av NCl_3 varierar med avseende på avgivning och luftflöde. Den övre axeln visar energibehovet för olika flöden och används för att se hur mycket som går att spara då NCl_3 reduceras utav REDUTRI.



Ex. om det vid en mätning visar att koncentrationen ligger på 0,6 mg/m³ då luftflödet är 7 m³/s, då kommer avgivningen ligga på ~4,2 mg/s. Reduceras det med REDUTRI skulle koncentrationen och avgivningen istället hamna på 0,15 mg/m³ och ~1,05 mg/s. Luftflödet hade då kunnat minska till nästan 5 m³/s, vilket hade motsvarat en förminskad energianvändning på nästan 7000 kWh/år.

4 Diskussion

Nedan diskuteras arbetet utifrån förväntade resultat, val av metod, möjliga förbättringar samt osäkerheter och/eller antaganden som gjorts.

4.1 Placering av utjämningsstank

Vid beräkning av utjämningsstanken antogs en drifttid på cirkulationspumpen på 20h med maxflöde, vilket är svårt att förutspå eftersom cirkulationspumpen alltid är aktiv (24h) men regleras beroende på behov. Flödet beror på vattenkvalitén som varierar sig konstant. Beroende på badanläggningens öppettider och besökarantal varierar det konstant.

Pumparnas verkningsgrad var satt mellan 75-80% enligt ”Tekniska beskrivningen för Nya Åbybadet” vilket är en hög verkningsgrad för pumpar. Johan Dahn berättade att besparingarna för att sänka nivåskillnaden 1dm skulle leda till en besparing på 10 000kWh/år, då vårt resultat visar på en besparing på 5970kWh/år med en förminskning nivåskillnad på 1m.

I våra beräkningar har inte påverkan av krökar eller tryckförluster genom filter tagit hänsyn till utan bara en jämförelse mellan samma system och ändas ändrat nivåskillnaden. För att få ett exakt värde behövs fysiska tester genomföras under en längre period och under flertal olika system.

Slutsatsen blir att om man minskar nivåskillnaden mellan bassäng och utjämningsstanken minskar pumpens energiförbrukning. Idag är placeringen av utjämningsstanken en projekteringsfråga. För att få plats med utjämningsstanken i hela det komplexa vattensystemet. Vid nyproduktion kan man ha denna åtanke för att minimera varje aspekt av energiförbrukningen men bör inte göra en förändring i befintliga badhus, då det är små energibesparingar i relation till hela badhusets energiförbrukning samt att logistiken med kanaler och rör kommer behövas dra om.

4.2 Uppvärmning av luft

För att fram det minskade energi/effekt behovet blev det nödvändigt att göra antaganden och förenklingar av verkligheten. Detta då det annars blev ohanterligt med alla variabler i beräkningarna.

Det som antagits och förenklats redovisas nedan som punktlista. Hur det skulle påverka resultatet diskuterades mellan författarna och tillsammans med handledare och har sammanfattats under respektive punkt.

- Tidsintervallet under vilket det sker avgivning av NCl_3 från vattnet till luften ansätts till 1h.
- Avgivningen antas vara konstant över tidsintervallet.

Tidsintervallet blev en aspekt som tidigt bestämdes till 1h. I verkligheten varierar det hela tiden då avgivningen påverkas av vattenytans storlek, mängden gäster i vattnet, aktiviteten m.m.

En begränsning idag är hur nivån av NCl_3 mäts. Som redovisat i kapitel 2.3.1 genomför man idag mätningen på två sätt där båda samlar in prover genom att luft passerar ett filter i 45 min. Det gjorde att vi satte avgivningen som konstant under en timme.

- Nivån av NCl_3 i tilluften antas vara 0, dvs. tilluften består till 100% av uteluft. I verkligheten avfuktas och återcirkuleras en del av frånluften för att spara energi, att beakta detta skulle innebära att nivån av NCl_3 i tilluften blir >0 .
- Ett undertryck erhålls i rummet genom att frånluftsflödet är större än tilluftsflödet. Skillnaden antas vara uteluft (från otätheter i klimatskalet) och hanteras därför som ren ($\text{NCl}_3=0$).

Uteluften innehåller naturligt inte NCl_3 då det är en reaktion mellan kväve och klor. Dock blir frånluften delvis återcirkulerad vilket i verkligheten påverkar hur mycket uteluft som behövs för att komma ner till FHMs värde på $0,2 \text{ mg/m}^3$.

Resultatet visar att det finns en potential att spara energi i att använda en teknik likt Redutri. Då det är många variabler som styr kan ett definitivt svar dock inte ges, men underlaget som arbetet tagit fram kan användas för att få en överblick på hur besparingsmöjligheten ser ut!

5 Slutsatser

Badhusanläggningar är en verksamhet med stor utvecklingspotential ur ett energiperspektiv. Projekteringen av badhus är en viktig del och samspelet mellan alla parametrar behöver fungera tillsammans för att få ett så bra resultat som möjligt. För att uppnå en bra projektering av badhus krävs det att flera experter arbetar tillsammans för att nå de största energibesparingarna ur ett större perspektiv. Det finns många olika lösningar för badhus men några riktlinjer som gäller för alla lösningar är:

- Tätt klimatskal
- Bra projektering av anläggningen
- Använda FTX-aggregat
- Bygga hållbart med lång livslängd

Det är mycket som styr projekteringen av badhus, med allt från utformning, plats, ekonomi. Men om man bortser dessa begränsningar är det bästa sättet att bygg badhus hållbart:

- I samarbete med ishall. För att överbliven värmeenergi ifrån ishallen kan användas för badhuset, och tvärt om. Det blir en symbios mellan simhall och ishall där de olika verksamheterna tar vara på varandras spillenergi. Detta är en bra energibesparing då det tillgodoses både badhusverksamheten och ishallverksamheten.
- Med gråvattenbesparingar. För att ta vara på värmeenergi i spillvattnet
- Med bra placering av duschutrymmen och tydliga anvisning. För att minska reningsbehovet och därmed besparar energi.

Driften i badhusanläggningar är komplex så det går inte att göra en förändring i en del utan att det påverkar en annan del. Eftersom det krävs mycket energi för att driva ventilationen på ett sätt som uppfyller kraven för luftkvalité har utgångspunkten varit att minska energiåtgången i den delen. Bästa sättet att minska ventilationsbehovet är att minska mängden föroreningarna som behöver ventileras ut. Det finns en korrelation mellan en bra reningssystem och minskat behov av ventilation, så förbättringar i reningssystem lägger grunden för ett förbättrat ventilationssystem. Med hjälp av REDUTRI kan ventilationsenergi minimeras med och samtidigt ha en minimal energianvändning på reningssystemet.

6 Litteraturförteckning

- af Klintberg, T., Björk, F., & Gudmundsson, K. (2019). *Simhallar – ett övergripande perspektiv på teknik, hälsa, beständighet och ekonomi*. för Byggvetenskap, för Hållbara byggnader. Stockholm: KTH. Hämtat från <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1331868&dswid=-241>
- Arbetsmiljöverket. (2021). *Kloraminer och exponering i badhus*. Hämtat från <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/kunskapssammanstallningar/kloraminer-och-exponering-i-badhus-kunskapssammanstallning/?hl=badhus>
- Belok. (2016). *Energieffektivisering av badhus*. Göteborg: CIT energy Management AB. Hämtat från <file:///C:/Users/basse/Downloads/Energieffektiva-badhus-slutrapport.pdf>
- Berlin, Y. (2021). *Stadsbyggnad*. Hämtat från Utmaning att bygga simhallar: <https://stadsbyggnad.org/2021/utmaning-att-bygga-simhallar/>
- Bernard, A., Nickmilder, M., Voisin, C., & Sardella, A. (2009). Impact of chlorinated swimming pool attendance on the respiratory health of adolescents. *Pediatrics*, *124*(4), 1110-1118. doi:<https://doi.org/10.1542/peds.2009-0032>
- Boverket. (u.å). *Boverket*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/fragor--svar/bbr-boverkets-byggregler/avsnitt-9-energihushallning/undantag/ar-badanlaggningar-undantagna-fran-kraven-pa-energihushallning-enligt-bbr/>
- Dahn, J. (den 28 Februari 2023). Drifttekniker, Nollhaga Parkbad Alingsås. (A. Sjölund, & S. Andersson, Intervjuare)
- Enduce . (2023). *Enduce*. Hämtat från <https://enduce.se/>
- Energimyndigheten. (den 11 November 2022). *Energieffektiva badhus*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/energieffektivisering-inom-offentlig-sektor/aktorer-som-bidrar-med-kunskap/energieffektiva-badhus/>
- Energimyndigheten. (den 10 Januari 2023). *Nuläget på elmarknaden, december 2022*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/om-oss/press/prenumerera/laget-pa-energimarknaderna/nulaget-pa-elmarknaden/2022/nulaget-pa-elmarknaden-december-2022/>
- Enviroprocess. (2020). *Teknisk Beskrivning Vattenbehandling, Åby badet*. Göteborg: Mölndal stad.
- Folkhälsomyndigheten. (2021). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om bassängbad (HSLF-FS 2021:11)*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/f/folkhalsomyndighetens-allmanna-rad-hslf-fs-2021-11/>
- Folkhälsomyndigheten. (den 5 Februari 2021). *Vägledning om bassängbad*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/v/vagledning-om-bassangbad/?pub=86245>

- Folkhälsomyndigheten. (den 27 Januari 2023). *Vägledning om bassängbad*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/v/vagledning-om-bassangbad/?pub=86245>
- Göteborgs stad. (den 13 April 2023). Driftbild på aggregat.
- Hansson, F. (2023). Sweco. (A. Sjölund, & S. Andersson, Intervjuare)
- Holmberg, J. (den 31 05 2018). *Svensk byggtidning*. Hämtat från Bra inomhusklimat i badhus är beroende av rätt ventilation: <https://www.svenskbyggtidning.se/2018/05/31/bra-inomhusklimat-badhus-ar-beroende-av-ratt-ventilation/>
- Högberg. (den 31 Maj 2018). Bra inomhusklimat i badhus är beroende av rätt ventilation. *Svensk Byggtidning*, <https://www.svenskbyggtidning.se/2018/05/31/bra-inomhusklimat-badhus-ar-beroende-av-ratt-ventilation/>.
- Johansson, M., & Selenius, D. (2021). *Trycksatt luftspalt i simhallstak*. Stockholm: KTH.
- Klintberg, T. a., Björk, F., & Gudmundsson, K. (2019). *Simhallar - ett övergripande perspektiv på teknik, hälsa, beständighet och ekonomi*. Institution för Byggetenskap, Avdelningen för Hållbara byggnader. Stockholm: KTH.
- Konsumenternas energimarknadsbyrå. (den 07 Maj 2023). *Månadspriser på elbörsen*. Hämtat från <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elpriser-statistik/manadspriser-pa-elborsen/>
- Menerga. (2016). *Luftbehandlingsteknik Offentliga simhallar*. Hämtat från https://www.menerga.com/fileadmin/user_upload/menerga/News_Media/Brochures/SE/Luftbehandling_offentliga_simhallar.pdf?fbclid=IwAR0YDtv-fh3FdHJQwqPwiW5LKnkeon1bsp3ESdf9Oid0TbskqAimW-JaSUE
- Menerga. (u.å). *Avfuktning av simhallar*. Hämtat från Menerga: <https://www.menerga.com/se/marknader-applikationer/simhall/>
- Nordiska Expertgruppen (NEG). (2019). *Inorganic chloramines*. Arbets- och miljömedicin. Göteborgs universitet. Hämtat från <http://hdl.handle.net/2077/61724>
- Nöjd, L. (2023). Mölndals stad. (A. Sjölund, & S. Andersson, Intervjuare)
- Romberg, K., Tufvesson, E., & Bjermer, L. (den 22 Maj 2012). Asthma is more prevalent in elite swimming adolescents despite better mental and physical health. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22, 362-371. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01177.x>
- Rutqvist, S. (2016). *Undersökning och utvärdering*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- SafeWater Scandinavia. (den 27 April 2023b). Mailkonversation med Alexander Levinsson.
- SafeWater Scandinavia. (den 07 Maj 2023c). Hämtat från <https://safewaterscandinavia.se/>
- Safewater Scandinavia AB. (2023a). *Miljön i simhaller*. Hämtat från <https://safewaterscandinavia.se/#ws-block-page-title-with-plain-text-bg-image-FhjQVjq9>

- Sjökvist, M. (2013). *Möjligheter till energieffektivisering i badhus*. Uppsala: Uppsala universitet.
- SMHI. (den 27 December 2022). *Året 2022 - Mycket torrt i sydöstra Sverige*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/aret-2022-mycket-torrt-i-sydostra-sverige-1.190565>
- Sveriges kommuner och landsting. (den 30 Januari 2015). *Badhus Strategiska frågor och ställningstagande*. Hämtat från Sveriges kommuner och regioner: <https://skr.se/skr/tjanster/rapporterochskrifter/publikationer/badhusstrategiskafragorochstallningstaganden.64648.html> Februari 2023
- Teräs, M. (den 13 April 2023). Drifttekniker, Göteborgs stad. (A. Sjölund, Intervjuare)
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2017). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.
- We Group. (den 08 Maj 2023). *We Group hjälper dig med trikloraminalys på badhuset!* Hämtat från <https://www.wegroup.se/tekniklosningar/trikloramin/>
- WHO. (2006). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2: Swimming pools and similar environments*. World Health Organization.
- Wikenståhl, T. (2012). *Bygga Bad*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Zuijderwijk, B. R., & Enqvist, N. (2023). Göteborgstad. (A. Sjölund, & S. Andersson, Intervjuare)

BILAGA 1: Matlab kod

Contents

- Flöden
- Avgivning
- Minsta flöde för att nå ner till FHMs riktvärde
- Skillnaden i flöde
- Temperaturer
- Beräkning av energibehov, innan reduktion av koncentration
- Beräkning av energibehov, efter reducerad koncentration
- Minskad energibehov

```
clear
clc
format bank
%Minskat antalet värden i denna.
```

Flöden

```
%Max luftflöden i m3/s
q1 = 7;
q2 = 6;
q3 = 5;
q4 = 4;
Qm = [q1 q2 q3 q4]; % Vektor med maxflöden
EL = [1; 0.7; 0.45; 0.3; 0.15]; %Procent för olika flöden
Qv = Qm.*EL; %Matris med Qm som rad och EL som kolumn, för att ta fram flöden nedan
%Vektorer med flöden mellan 100-15%
Q1 = [7.00 4.90 3.15 2.10 1.05];
Q2 = [6.00 4.20 2.70 1.80 0.90];
Q3 = [5.00 3.50 2.25 1.50 0.75];
Q4 = [4.00 2.80 1.80 1.20 0.60];
```

Avgivning

```
C = [1.2; 1; 0.8; 0.6; 0.4]; %Koncentration trikloraminer mg/m3
C75 = C.*0.25; %Koncentrationer efter Redutri som minskar med upp till 75%.
A1 = Q1.*C; %Q1s kolumner * koncentrationer rader
A1r = Q1.*C75; %Avgivning reducerad med 75%
A2 = Q2.*C;
A2r = Q2.*C75;
A3 = Q3.*C;
A3r = Q3.*C75;
A4 = Q4.*C;
A4r = Q4.*C75;
```

Minsta flöde för att nå ner till FHMs riktvärde

```
Cfhm = 0.2; %Folkhälsomyndighetens riktvärde för trikloraminer mg/m3
Q1min = A1./Cfhm; %Minsta flöde innan reduktion
Q1Rmin = A1r./Cfhm; %Minsta flöde efter reduktion
Q2min = A2./Cfhm;
Q2Rmin = A2r./Cfhm;
Q3min = A3./Cfhm;
Q3Rmin = A3r./Cfhm;
```

```
Q4min = A4./Cfhm;  
Q4Rmin = A4r./Cfhm;
```

Skillnaden i flöde

```
%Minskad mängd luft utav mindre behov av att vädra NC13  
Q1R = Q1min-Q1Rmin;  
Q2R = Q2min-Q2Rmin;  
Q3R = Q3min-Q3Rmin;  
Q4R = Q4min-Q4Rmin;
```

Temperaturer

```
Tu = -20:10:20; %Temperatur ute  
Tv = 28; %Temperatur vatten  
Tf = Tv+2; %Temperatur frånluft  
Vr = 0.85; %Verkningsgrad på värmeåtervinning  
Tvr = Vr*(Tf-Tu)+Tu; %Temperatur efter värmeåtervinning  
deltaT = Tf-Tvr; %Värmebehov efter återvinning
```

Beräkning av energibehov, innan reducering av koncentration

```
%Effektbehov för flöde 1  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q1min; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 2  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q2min; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 3  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q3min; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 4  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q4min; %1.2=densitet, 1000=cp  
end
```

Beräkning av energibehov, efter reducerad koncentration

```
%Effektbehov för flöde 1  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q1Rmin; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 2  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q2Rmin; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 3  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q3Rmin; %1.2=densitet, 1000=cp  
end  
%Effektbehov för flöde 4  
for i = 1:5  
    1.2*1000*deltaT(i)*Q4Rmin; %1.2=densitet, 1000=cp  
end
```

Minskad energibehov

```
%Effektbehov för flöde 1
for i = 1:5
    1.2*1000*deltaT(i)*Q1R; %1.2=densitet, 1000=cp
end
%Effektbehov för flöde 2
for i = 1:5
    1.2*1000*deltaT(i)*Q2R; %1.2=densitet, 1000=cp
end
%Effektbehov för flöde 3
for i = 1:5
    1.2*1000*deltaT(i)*Q3R; %1.2=densitet, 1000=cp
end
%Effektbehov för flöde 4
for i = 1:5
    1.2*1000*deltaT(i)*Q4R; %1.2=densitet, 1000=cp
end
```

Published with MATLAB® R2022b

BILAGA 2: Diagram

