



CHALMERS



Energikartläggning av Stora Teatern & Göteborgs Stadsteater

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

ERIK BOTSJÖ
ADAM EMRETSSON

Energikartläggning av Stora Teatern & Göteborgs Stadsteater

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ERIK BOTSJÖ

ADAM EMRETSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2017

Energikartläggning av Stora Teatern & Göteborgs Stadsteater

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ERIK BOTSJÖ

ADAM EMRETSSON

© ERIK BOTSJÖ, ADAM EMRETSSON, 2017

Examensarbete BOMX03-17-26 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2017

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Stora Teatern till vänster och Göteborgs Stadsteater till höger. (Higab, 2017).

Återgivna med tillstånd.

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2017

Energikartläggning av Stora Teatern & Göteborgs Stadsteater

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ERIK BOTSJÖ

ADAM EMRETSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater ska energikartläggas enligt direktiv från EU. Fastighetsbolaget Higab förvaltar teatrarna och har anlitat ingenjörbyrå Andersson & Hultmark som i sin tur erbjudit energikartläggningen av Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater som ett examensarbete.

I rapporten har en energikartläggning gjorts för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Byggnadernas energianvändningar har tagits fram och undersökts. Energianvändningen delas upp i fjärrvärmeanvändning, användning av luftburen el och en total elanvändning för båda teatrarna. Dessa delar analyseras för att sedan summeras i en total specifik energianvändning.

Med framtagna energianvändningar jämförs Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater, dels med varandra men även med referensvärden framtagna av Boverket för olika typer av byggnader. Detta för att tydligt visa vad som särskiljer teatrarna.

I Stora Teatern har även mätningar av temperaturer och koldioxidhalter genomförts för teaterns huvudscen, Stora scenen. Mätningar valdes att göras då tvivel på lokalens tilluftscirkulation uppstod efter platsbesök. Något som visade sig vara fallet i vissa delar av Stora scenen efter att resultat togs fram.

Slutligen har åtgärdsförslag tagits fram för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater för att minska på energianvändningen. Flera av åtgärdsförslagen visade sig bidra till en tydlig minskning av energianvändningen för båda teatrarna samt en besparing av byggnadernas energikostnader. Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater har en stor potential för markanta energieffektiviseringar där givna åtgärder kan utgöra en betydande faktor.

Nyckelord: Energikartläggning, åtgärdsförslag, energianvändning.

Energy audit of the theatres Stora Teatern and Göteborgs Stadsteater

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

ERIK BOTSJÖ

ADAM EMRETSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

By directives from the European Union, an energy audit has to be made for the theatres Stora Teatern and Göteborgs Stadsteater. The real estate company Higab manages the theatres and have brought in consulting from the engineering company Andersson & Hultmark which in turn have offered the energy audit as a master thesis.

In the thesis, an energy audit has been made for the theatres Stora Teatern and Göteborgs Stadsteater. The energy consumption of the buildings will be derived, analyzed and separated into different categories. The different categories, which consists of district heating consumption, ventilation consumption and total electricity consumption, will be summarized and a total specific energy consumption will be calculated for each theatre.

The calculated energy consumptions will then be compared, partly with each other but also with reference values created by the Swedish management authority of urban planning, Boverket. The reason behind this is to get a deeper understanding of the theatres distinctions.

Stora Teaterns temperatures and carbon dioxide levels have been measured. The reason behind this was a doubt that arose of the venting when the theatre was visited, a problem that was proven in parts of the theatre.

Finally, a measurement protocol has been made for Stora Teatern and Göteborgs Stadsteater to decrease the energy consumption of the theatres. Several of the measures were proven to be highly effective and a large portion of energy consumption as well as the energy costs could be saved for both of the theatres if the measures were implemented.

Key words:

Energy audit, energy consumption, measurement protocol.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	3
2 VIKTIGA BEGREPP INOM ENERGIKARTLÄGGNING	4
2.1 Energideklaration	4
2.2 OVK - obligatorisk ventilationskontroll	4
2.3 Fjärrvärme	5
2.4 Fastighetsel & verksamhetsel	6
2.5 Varaktighetsdiagram	7
3 STORA TEATERN	9
3.1 Om byggnaden	9
3.1.1 Byggnadsminne	9
3.2 Ventilation Stora Teatern	10
3.2.1 Energianvändning – luftburen el	12
3.3 Fjärrvärme Stora Teatern	13
3.3.1 Beräkning av vätskekopplade värmebatterier	16
3.3.2 Summering av fjärrvärmeanvändningen	17
3.4 Elstatistik Stora Teatern	18
3.5 Mätningar	20
3.5.1 Temperaturmätningar	20
3.5.2 Koldioxidmätning den 19/4-2017	21
3.5.3 Koldioxidmätning den 22/4-2017	22
4 GÖTEBORGS STADSTEATER	24
4.1 Om byggnaden	24
4.2 Ventilation Göteborgs Stadsteater	24
4.2.1 Energianvändning - luftburen el	28
4.3 Fjärrvärme Göteborgs Stadsteater	29
4.3.1 Beräkning av vätskekopplade värmebatterier	31

4.3.2	Summering av fjärrvärmeanvändningen	32
4.4	Elstatistik Göteborgs Stadsteater	33
5	JÄMFÖRELSE MELLAN STORA TEATERN & GÖTEBORGS STADSTEATER	36
5.1	Luftburen el	36
5.2	Total elförbrukning	37
5.3	Fjärrvärme	37
5.4	Total specifik energianvändning	38
6	JÄMFÖRELSE MELLAN TEATRARN & REFERENSVÄRDEN	41
6.1	Fjärrvärmeanvändning	41
6.2	Total specifik energianvändning	42
7	ÅTGÄRDSFÖRSLAG	44
7.1	Göteborgs Stadsteater	44
7.1.1	LS06 & LS07	44
7.1.2	TA8, TA9 & TA12	45
7.2	Stora Teatern	46
7.2.1	LB01	46
7.2.2	TA1(restaurang)	47
7.3	Övergripande åtgärder	47
8	SLUTSATS	50
9	REFERENSER	51

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete som ingår i utbildningen Byggteknik, 180 högskolepoäng på Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet har utförts under vårterminen år 2017 på institutet för bygg- och miljöteknik, avdelningen för installationsteknik. Examensarbetet erbjöds av ingenjörbyrå Andersson & Hultmark och innefattade en energikartläggning av Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater.

Ett tack vill framföras till Anders Trüschel, universitetslektor på Chalmers tekniska högskola och vår handledare under examensarbetet, som bidragit med råd, kunskaper och hjälpmedel under arbetets gång. Vi vill även tacka Jenny Therning och Jonas Sköld från Andersson & Hultmark som erbjudit examensarbetet samt bidragit med stöd och kontakter som gjort arbetet möjligt. Från fastighetsbolaget Higab vill vi tacka Anders Bjerstaf, Roberto De Feo samt Peter Löwing som hjälpt till med information genom möten och mailkontakt. Roger Ternell och Thomas Nilsson, fastighetsförvaltare för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater, har även bidragit med hjälp genom rundvandringar, mailkontakter och möten vilket har givit en djupare förståelse för byggnaderna. Ett extra stort tack vill vi framföra till Roger Ternell som även tog sig tid efter arbetstid för att hjälpa till med mätningar i Stora Teatern. Slutligen vill vi tacka de klasskamrater som hjälpt till att förbättra rapporten genom peer response och korrekturläsning.

Erik Botsjö och Adam Emretsson
Göteborg juni 2017

1 Inledning

Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater förvaltas av fastighetsbolaget Higab, vilket är ett kommunalt företag som ägs till 100% av Göteborgs stad. På direktiv från EU om energikartläggning för stora företag skall Higab kartlägga energianvändningen för samtliga av sina byggnader inom en närmare framtid. Higab har därför anlitat ingenjörskonstbyrå Andersson & Hultmark, ett fristående teknikkonsultföretag inom områdena VVS- och energiteknik, för att utföra denna energikartläggning. Andersson & Hultmark har i sin tur erbjudit en del av detta omfattande projekt som ett examensarbete.

I följande rapport kommer en energikartläggning göras för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Dessa två byggnader har ett stort kulturellt värde för staden Göteborg och särskiljer sig ur ett installationstekniskt perspektiv från andra byggnader. Detta ligger till grund för valet av nämnda teatrar.

Energianvändningen för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater kommer tas fram och en jämförelse kommer göras mellan byggnaderna. Med framtagna värden kommer även teatrar jämföras med vad som skulle kunna ses som standardvärden för andra typer av byggnader. Detta för att tydligt kunna se vad som gör teatrar unika. Med framtagna energianvändningar är förhoppningen att även kunna ta fram relevanta åtgärdsförslag för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater som kan leda till en effektivare energianvändning.

1.1 Bakgrund

Den 1 juni 2014 trädde en ny lag i kraft om energikartläggning som syftar till att energieffektivisera byggnader i stora företag. Ett stort företag definieras i detta sammanhang som ett företag som sysselsätter minst 250 personer och har en årsomsättning som överstiger 50 miljoner euro eller en balansomsättning som överstiger 43 miljoner euro per år (Energimyndigheten, 2015). Den här lagen, "Lagen om energikartläggning i stora företag" eller "EKL", tillkom för att uppfylla de krav EU:s energieffektiviseringsdirektiv (EED) ställer på medlemsländerna. Syftet med EED är att fastställa en gemensam ram för att främja energieffektivisering inom EU och att nå målet om 20% primärenergibesparing år 2020 (Energimyndigheten, 2015). Enligt EKL har stora företag skyldighet att göra energikartläggningar minst vart fjärde år som måste utföras av en certifierad energikartläggare. Syftet med detta är att få svar på hur mycket energi som årligen tillförs och används i ett företag samt att få fram kostnadseffektiva förslag som företagen kan använda för att minska sin energianvändning (Energimyndigheten, 2015).

1.2 Syfte

Denna rapport syftar till att energikartlägga Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater för att kunna få fram byggnadernas specifika energianvändningar. Dessa energikartläggningar kommer analyseras och jämföras, dels med varandra och dels med vad som kan ses som standardförbrukningar av andra byggnadstyper.

Utöver detta är ett huvudmål att med hjälp av energikartläggningarna kunna upptäcka och föreslå relevanta åtgärder för att sänka byggnadernas energianvändning med hänsyn till deras unika förutsättningar.

1.3 Metod

Rapporten är baserad på platsbesök i Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater där fastighetsskötare för respektive byggnad har närvarat och svarat på frågor gällande utformning och energianvändning av VVS-systemen i teatrarna. Informationsunderlag har även införskaffats från KTC, ett styr- och övervakningssystem som används för Higabs byggnader där ventilationsaggregatens utformning samt drifttider redovisas. Från det digitala förvaltningsregistret iBinder, som används av Andersson & Hultmark, har de senaste obligatoriska ventilationskontrollerna (OVK) samt energideklarationerna för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater hämtats där bland annat luftflöden, fläkteffekter och verkningsgrader för värmeåtervinnare beskrivs. Personliga möten samt mailkontakter har förts med parter som utfört OVK och energideklarationer för teatrarna där innehållet diskuterats och granskats. Från iBinder har även statistik från teatrarnas fjärrvärmeanvändning hämtats vilka är gjorda av Göteborg Energi, energileverantören för både Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Från Göteborg Energi har även elanvändningar för respektive teater hämtats.

Rapportens upplägg är till viss del baserat på EU:s instruktioner på hur en energikartläggningsrapport skall skrivas vilket beskrivs i Energimyndighetens upplaga *Så skriver du en energikartläggningsrapport*, utgiven juni 2016.

Vid beräkningar av ventilationens värmebatterier har varaktighetsdiagram använts som hjälpmedel. En förklaring på hur varaktighetsdiagram används redovisas i kapitel 2.5 och exempel på användning av varaktighetsdiagram bifogas i Bilaga 1 och Bilaga 2.

Mätningar av Stora Teaterns temperaturer och koldioxidhalter har gjorts för att få en fördjupad insyn i teaterns inomhusklimat. Mätningarnas resultat har tagits fram med hjälp av de digitala programmen EasyView och Rotronic SW21.

För att kunna jämföra Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater med andra typer av byggnader har information inhämtats från ett samlingsdokument gjort av Boverket. I detta dokument kan referensvärden för energianvändning i befintliga småhus, flerbostadshus och lokaler utläsas.

1.4 Avgränsningar

Vid beräkning av elanvändningen har ingen detaljerad studie kring verksamhetsel eller fastighetsel gjorts då inga värden funnits tillgängliga. En rimlig metod för att räkna fram verklighetsenliga värden av verksamhetselen har heller inte ansetts möjlig. Främst för att detta hade varit för tidskrävande då rundvandringar krävts där varje enskild komponent som förbrukar energi hade fått beräknas.

I rapporten har inga beräkningar gjorts på klimatskalen för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater utan fokus har lagts på teatrarnas installationer.

Mätning av fläkteffekter har inte gjorts då befogenhet för att göra detta saknas. Detta har lett till en avsaknad av uppmätta fläkteffekter för vissa ventilationsaggregat där märkeffekter har använts istället.

För Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater har inte kylbatterier beräknats för de ventilationsaggregat som är utrustade med dessa. Det är endast ett fåtal aggregat i teatrarna som är utrustade med kylbatterier och antagandet har gjorts att kylbatterierna utgör en försumbar del av den totala energianvändningen, något som styrks i teatrarnas energideklarationer.

2 Viktiga begrepp inom energikartläggning

I detta kapitel kommer olika typer av begrepp att förklaras som nämns frekvent i rapporten. Detta för att energikartläggningen ska bli enklare att förstå samt för att begreppen förknippas med energikartläggningar och installationsteknik generellt.

2.1 Energideklaration

Ur en energideklaration kan information om en byggnads energianvändning utläsas. En energideklaration måste kunna visas upp vid försäljning eller uthyrning av en fastighet. Detta ansvar ligger hos ägaren av fastigheten. En energideklaration görs av en oberoende expert, inhyrd av ägaren, och är giltig i tio år (Boverket, 2014).

För Stora Teatern är en energideklaration gjord av GICON Installationsledning AB. Denna skrevs år 2009 och är alltså fortfarande giltig i dagsläget. Ur energideklarationen kan bland annat energianvändningen för Stora Teatern utläsas. Det är även en kort beskrivning av teaterns värme- och ventilationssystem.

GICON Installationsledning AB gjorde även energideklarationen för Göteborgs Stadsteater samma år. I denna finns samma typ av information given som för Stora Teaterns energideklaration.

2.2 OVK - obligatorisk ventilationskontroll

OVK är en förkortning av obligatorisk ventilationskontroll och är en kontroll av ventilationssystemen som ska göras regelbundet av en certifierad kontrollant. Syftet med en OVK är att kontrollera att inomhusklimatet är godkänt och att ventilationssystemen fungerar (Boverket, 2014). Det ingår även i en OVK att kontrollanten ska ge förslag på möjliga åtgärder för att minska energianvändningen för ventilationssystemen, utan att det ska ge en sämre inomhusmiljö (Boverket, 2014).

En OVK ska göras innan ett ventilationssystem tas i bruk och ska sedan göras regelbundet. Tabell 2.1 beskriver hur ofta OVK besiktningarna ska göras för olika byggnadstyper och ventilationssystem (Boverket, 2014).

Tabell 2.1 Information om hur ofta en OVK ska göras. (Boverket, 2014).

Byggnader och typ av ventilationssystem	Intervall
Förskolor, skolor, vårdlokaler och andra liknande byggnader. Oavsett typ av ventilationssystem.	3 år
Flerbostadshus, kontorsbyggnader samt personalutrymmen och kontor i industribyggnader och liknande. FT-, FTX-ventilation	3 år
Flerbostadshus, kontorsbyggnader samt personalutrymmen och kontor i industribyggnader och liknande. S-, F-, FX-ventilation	6 år
En- och tvåbostadshus med FX-, FT-, FTX-ventilation.	Endast en första installationsbesiktning innan systemet tas i bruk. Ingen återkommande besiktning.

Där:

S-ventilation = självdragsventilation.

F-ventilation = fläktventilation där frånluftsflödena är fläktstyrda.

FT-ventilation = fläktventilation där både frånluft- och tilluftsflödena är fläktstyrda.

FX-ventilation = F-ventilation med värmeåtervinning.

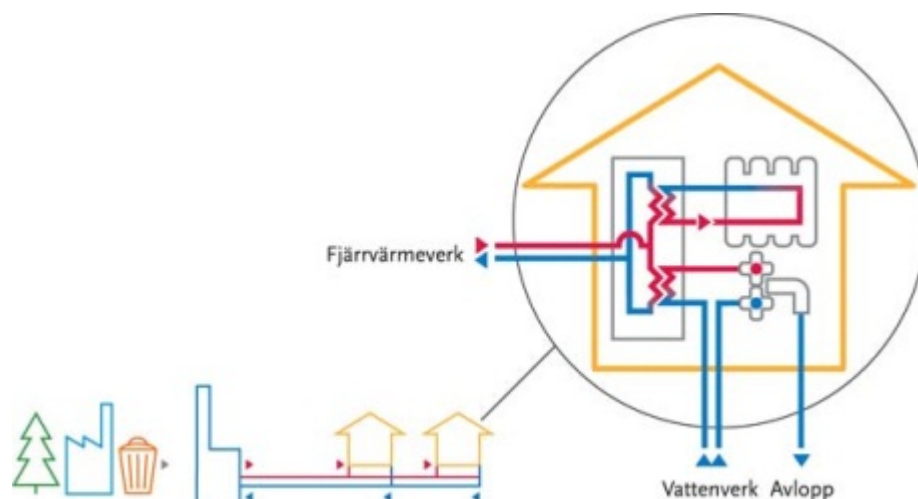
FTX-ventilation = FT-ventilation med värmeåtervinning.

2.3 Fjärrvärme

Begreppet fjärrvärme betyder att värme hämtas från en central anläggning som sedan distribueras till byggnader i närområdet. Göteborg Energi liknar ett fjärrvärmesystem med ett värmande blodomlopp där fjärrvärmeverket är hjärtat som med hjälp av ett nät av underjordiska ledningar pumpar ut varmvatten till hyreshus, kontor, affärer och villor (Göteborg Energi, 2017). I Sverige är fjärrvärme den vanligaste uppvärmningsformen och försörjer mer än hälften av landets bostäder och lokaler med värme (Svensk Fjärrvärme, 2005).

Med hjälp av biobränslen värms vatten upp i ett värmeverk. Vattnet transporteras sedan genom isolerade rör till fjärrvärmenätets kunder. Med högt tryck och en temperatur på 70-120°C leds vattnet till en fjärrvärmecentral som är placerad i varje mottagande fastighet (Svensk Fjärrvärme, 2005). I fjärrvärmecentralen är normalt två värmeväxlare inbyggda, en för tappvatten och en för radiatorer. Dessa växlare ser sedan till att varmvattnet transporteras genom rör i fastigheten och värmer upp

byggnadens radiatorer och tappvatten. Observera att det alltså inte är vattnet från fjärrvärmen som används till kranvatten, detta vatten värmer endast upp fastighetens dricksvatten som transporterats till fastigheten via separata rör. Fjärrvärmevattnet cirkulerar i byggnadens rör och förs sedan tillbaka till fjärrvärmeverket där det värms upp på nytt. Både ur den ekonomiska aspekten och miljöaspekten är det viktigt att en fastighets fjärrvärmeanläggning utnyttjar värmen så effektivt som möjligt. Detta för att minska på produktionskostnader och konsumtionen av biobränslen.



Figur 2.1 Övergripande bild över fjärrvärmetransporter (Svensk Fjärrvärme, 2005). Återgiven med tillstånd.

Göteborgs fjärrvärmenät sträcker sig från Ale i norr till Askim i söder och är ca 135 mil långt. Det är ungefär 90% av Göteborgs flerbostadshus, ca 12 000 villor samt flera andra byggnader som till exempel skolor, kontor och industrier vilka är anslutna till fjärrvärmenätet (Göteborg Energi, 2017). Även Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater är anslutna till Göteborgs fjärrvärmenät. Dessa byggnaders fjärrvärmeanvändningar kommer behandlas i kapitel 3.3 och kapitel 4.3.

2.4 Fastighetsel & verksamhetsel

När elanvändningen för en byggnad ska tas fram är det vanligt att denna delas upp i två delar, fastighetsel och verksamhetsel. Fastighetselen är den el som krävs för att hålla byggnaden i drift. I detta kan exempelvis elen för ventilationsfläktarna, pumpar för värmesystem, fast installerad belysning och hissar inräknas. Installationer och gemensamma funktioner skall alltså kunna drivas med fastighetsel (Energirådgivningen, 2016).

Verksamhetsel är som namnet insinuerar den elanvändning som tillkommer för att kunna driva en verksamhet i byggnaden. I BBR 06 definieras verksamhetsel enligt följande: "Den el (eller annan energi) som används för verksamheten i lokaler. Exempel på detta är belysning, datorer, kopiatorer, TV samt andra apparater för verksamheten samt spis, kyl och frys och andra hushållsmaskiner och dylikt", hämtat från Boverkets (2007) indata för energiberäkning i kontor och småhus (s.19).

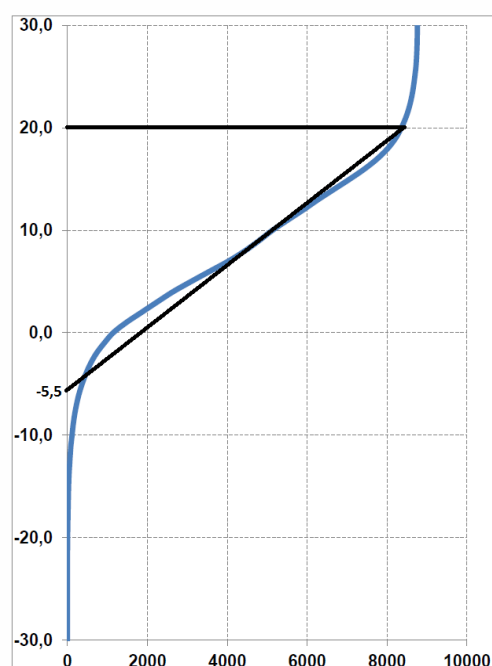
Belysningen för Göteborgs Stadsteater och Stora Teatern särskiljer sig från andra byggnader då en stor mängd används för upplysning av byggnadernas scener med

hjälp av strålkastare, spotlights och liknande. Elen som krävs för denna typ av belysning kommer i rapporten kategoriseras som verksamhetsel medan elen för den fasta belysningen i till exempel toaletter och trapphus ses som fastighetsel.

När en energikartläggning skall göras för Göteborgs Stadsteater och Stora Teatern är det främst fastighetselen som är utav intresse för Andersson & Hultmark då Higab förvaltar fastigheterna men alltså inte driver verksamheter i byggnaderna. För givna byggnader kan även verksamhetselen vara svår att urskilja. Göteborg Energi särskiljer inte på fastighetsel och verksamhetsel utan en total elförbrukning mäts upp. För att kunna få ut enbart verksamhetselen för teatrarna krävs en fördjupning där all elutrustning i byggnaderna undersöks. Detta kommer inte göras i rapporten utan förenklade värden kommer tas fram med hjälp av elstatistik från Göteborg Energi samt information från byggnadernas energideklarationer.

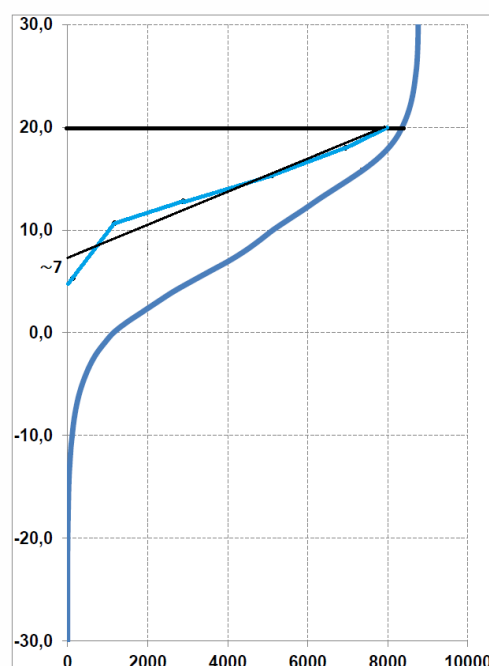
2.5 Varaktighetsdiagram

VARAKTIGHETSDIAGRAM GÖTEBORG HELA ÅRET



Figur 2.2 Varaktighetsdiagram över Göteborg, utan värmeåtervinning (Chalmers tekniska högskola, u.å.). Omarbetad med tillstånd.

VARAKTIGHETSDIAGRAM GÖTEBORG HELA ÅRET



Figur 2.3 Varaktighetsdiagram över Göteborg, med värmeåtervinning (Chalmers tekniska högskola, u.å.). Omarbetad med tillstånd.

Ett varaktighetsdiagram beskriver hur många timmar per år som ett område (i detta fall Göteborg) är under en viss utetemperatur. Inom installationsteknik kan ett varaktighetsdiagram vara användbart för att beräkna hur mycket värme som måste tillföras/bortföras åt en byggnad eller en lokal för att hålla det tilltänkta inomhusklimatet. För beräkning av alla värmebatterier i rapporten har en tilltänkt tilluftstemperatur streckats i varaktighetsdiagrammet. Arean som bildas mellan tilluftstemperaturen och kurvan för Göteborgs utetemperatur uppskattas och ger värmebehovet för en lokal under ett år. Detta värmebehov anges i enheten gradtimmar

[°Ch]. Ett exempel på detta visas i Figur 2.2 där beräkning för ett aggregat i Göteborgs Stadsteater gjorts. Om ett ventilationsaggregat är utrustat med värmeåtervinning kommer arean som bildas i varaktighetsdiagrammet att minska. Detta för att värme från frånluften tillförs i aggregatet och ökar temperaturen på den inblåsta uteluften före värmebatteriet. För att kunna beräkna temperaturen på luften efter att värmen från värmeåtervinnaren tillförts används formeln:

$$t_x = \eta_t \cdot (t_{rum} - t_{ute}) + t_{ute}$$

Där:

η_t - värmeåtervinnarens verkningsgrad

t_{rum} - rumstemperaturen (frånluftstemperaturen)

t_{ute} - utomhustemperaturen

t_x beräknas för ett visst antal utomhustemperaturer för att sedan kunna plottas in i varaktighetsdiagrammet. Ett exempel på detta visas i Figur 2.3. När detta är gjort beräknas antalet gradtimmar på samma sätt som tidigare.

Något som kan ses som problematiskt vid användning av varaktighetsdiagram är att ventilationsaggregat i många fall inte är igång under nattetid då utemperaturen är som kallast. Eftersom aggregatet då inte har en kontinuerlig drift måste de antalet timmar som aggregatet är avstängt räknas bort. När detta görs tas det inte i hänsyn att det är de kallaste timmarna under dygnet som räknas bort och antalet gradtimmar som beräknas är därför något överskattat. Detta kommer vara fallet vid beräkning av samtliga aggregat med värmebatterier i rapporten som inte har kontinuerlig drift.

När antalet gradtimmar är framtaget kan värmebatteriets energianvändning beräknas med formeln:

$$Q = \rho * c_p * \dot{V} * A$$

Där:

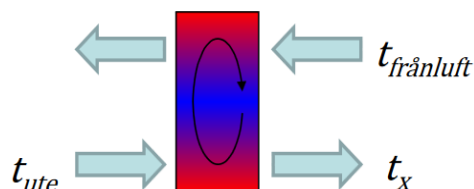
Q - Värmebehovet för värmebatteriet [kWh]

ρ - Densiteten ([1,2 kg/m³] för luft)

c_p - Specifik värmekapacitet ([1,0 kJ/(kg °C)] för luft)

$\dot{V}$ - Luftflödet [m³/s]

A - Areal framtaget i varaktighetsdiagram [°Ch]



Figur 2.4 Temperaturpåverkan på värmeåtervinnare (Chalmers tekniska högskola, u.å.). Återgiven med tillstånd.

3 Stora Teatern

I följande kapitel kommer energianvändningen av Stora Teatern undersökas. Detta innefattar fjärrvärmeanvändning, användning av luftburen el och en total elanvändning. För att kunna göra detta beskrivs Stora Teaterns utformning och inbyggda installationer som innefattas i nämnda energianvändningsområden. Beskrivningar av tillvägagångssätt för beräkningar ges löpande i kapitlet.

3.1 Om byggnaden

Stora Teatern invigdes år 1859 och var då Göteborgs största teater. Placeringen av teatern var vid denna tid mycket kontroversiell, berättar Roger Ternell som är fastighetsförvaltare på Stora Teatern. Detta eftersom den då låg på landsbygden, utanför vallgraven (Ternell, 2017). Detta ansågs vara otryggt eftersom få vistades vid denna plats efter mörkret, något som är svårt att tänka sig idag. Under större delen av 1900-talet var den Göteborgs främsta opera- och musikalscen fram till år 1994 då Göteborgsoperan öppnade (Stora Teatern, 2017).

Stora Teatern är idag ca 6350 kvm och används framförallt till olika föreställningar på Stora scenen men det finns även nattklubb, loger och kontor i byggnaden (Stora Teatern, 2017). Detta leder till ett antal olika ventilationsaggregat som betjänar olika delar i byggnaden. Stora Teatern är enligt ritningar från Bengt Dahlgren uppdelat i 9 plan, 100-900. Plan 100 är bottenplan där källare är placerad. Plan 200 är i nivå med huvudingången och plan 300 är i nivå med Stora scenen som fortsätter i höjd upp till plan 700. De två översta våningarna, plan 800 och 900, utgörs av vindsvåning respektive takvåning där större aggregat är placerade.

3.1.1 Byggnadsminne

Stora Teatern blev år 1973 förklarad som ett byggnadsminne av Riksantikvarieämbetet (Riksantikvarieämbetet, 1973). Byggnadsminnen är till för att skydda och bevara byggnader och miljöer som har extra stort kulturellt värde. En byggnad som har blivit byggnadsminnesförklarad skall enligt kulturmiljölagen bevaras för all framtid (Göteborgs Stad, 2017).

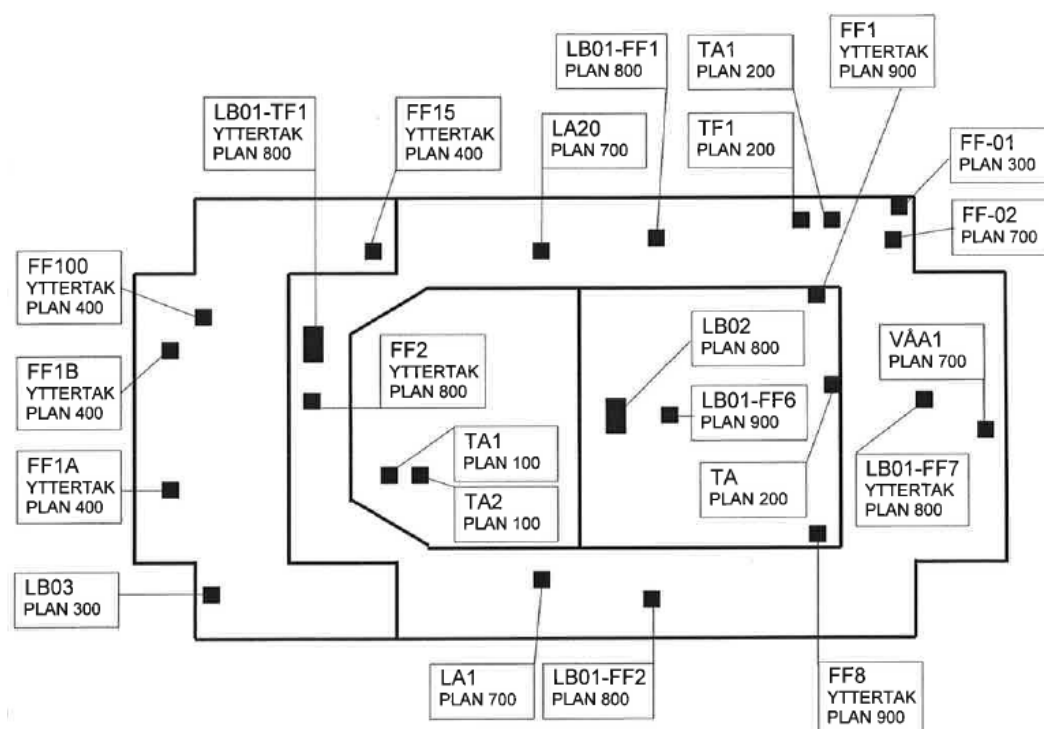
Till byggnadsminnet hör så kallade skyddsbestämmelser som beskriver vilka detaljer i varje byggnad som ska bevaras. Dessa skyddsbestämmelsers specificeringar skiljer sig dock brett beroende på när byggnaden blev byggnadsminnesförklarad (Emanuelsson, 2017). Av Riksantikvarieämbetets (1973) bevis på Stora Teaterns byggnadsminnesförklaring kan följande tre punkter utläsas.

1. Byggnaden må ej utan riksantikvariens samtycke rivas eller till sitt yttre ombyggas eller på annat sätt förändras.
2. Arbeten i teatersalongen med tillhörande förscen och i första radens foajé, som innebär ingrepp i eller förändring av bevarad originalinredning skall utföras i samråd med riksantikvarien.
3. Byggnaden skall ägnas för dess framtida bestånd erforderligt löpande underhåll.

3.2 Ventilation Stora Teatern

Stora Teaterns drifttider gör byggnaden unik vilket kräver VVS-system som uppfyller komfortkraven för besökare och personal som vistas i byggnaden under ett brett tidsspann. Ventilationen i byggnaden kan troligtvis ses som den största utmaningen av VVS-systemen där varierande drifttider och behov av skiftande luftflöden medför höga krav på ventilationsaggregaten. För att dessa krav skall uppfyllas används styr- och övervakningssystemet KTC där samtliga aggregat kan kontrolleras. Ett exempel på detta visas i Bilaga 8. I dagsläget finns 10 stycken ventilationsaggregat och ytterligare ett antal frånluftsfläktar i bruk.

Hösten år 2016 gjordes ändringar av ventilationsaggregatens drifttider för att dra ner på energianvändningen i Stora Teatern. Dessa ändringar gjordes av Anders Bjerstaf som är fastighetstekniker på Higab och förvaltar Stora Teatern. Drifttiderna som är givna i energideklarationen samt i den senaste OVK:n är därför inte längre sanna då dessa gjordes innan år 2016. Istället har drifttider hämtats från KTC där loggningar görs i realtid. Dessa drifttider ska enligt Peter Löwing, energiingenjör på Higab, vara de mest sanningsenliga för dagslägets ventilationsaggregat.



Figur 3.1 Överblicksbild på Stora Teatern med dess olika aggregat (OVK, 2014). Återgiven med tillstånd.

Ventilationsaggregatet LB01, placerat på plan 800, är det aggregat som förser huvudscenen med till- och frånluft. Detta aggregat är från år 2000 och omsätter störst luftmängd i Stora Teatern, ca 5600 l/s i tilluft. Över scenen är 8 tilluftsdon placerade som förser lokalen med tilluft. Enligt styr- och övervakningssystemet KTC är dessa tilluftsdon igång 91 timmar i veckan med varierande luftflöden beroende på aktivitet. Ventilationen för Stora scenen styrs i dagsläget främst med tryckknappar som i sin tur reglerar flödet från frånluftsfläktarna. När detta flöde stiger så ökar även flödet från tilluftsaggregatet via en frekvensomriktare vilket leder till en ökad luftcirkulation i lokalen. En önskan finns dock att detta system skall ändras där ett månadsschema kan

läggas in i KTC och regleras utefter detta (Ternell, 2017). Tryckknapparna för LB01 har i dagsläget fyra olika driftfall, beroende på hur mycket man vill ventilerar. Vid driftfall fyra går till exempel frånluftsfläktarna för fullt vilket också gör att tilluften går för fullt med hjälp av en frekvensomriktare. Tryckknapparnas placering kan dock ses som problematisk då vissa är svåråtkomliga. Till exempel är tryckknappen TR2 placerad på översta våningsplan (plan 800) dit endast ett fåtal personer har tillträde.

Frånluften förs ut genom takkronan samt i bakre änden av salongen på det övre våningsplanet. Det finns fyra frånluftsfläktar, varav två är igång 91 timmar i veckan och de andra två är forceringsfläktar som sätts på vid behov. Det finns inte någon värmeåtervinnare i LB01 då tilluftsaggregatet och frånluftsaggregatet ligger så pass långt ifrån varandra, detta medför att värmen som förs bort från Stora scenen inte utnyttjas.



Figur 3.2 Bild på aggregat LB02. Författarens egen bild.

Ventilationsaggregatet LB02 är ett av de nyare aggregaten från år 2003 som går till en mindre scen och ett konferensrum. Det här aggregatet har byggts till i en modul som ligger över Stora scenen på plan 800 och tillför ovan nämnda lokaler med ett flöde på ca 900 l/s. Aggregatet är utrustat med en roterande värmeväxlare som enligt energideklarationen har en verkningsgrad på 70%. Aggregatet är även försett med en ångbefuktare men denna används inte i dagsläget.

LB02 har en tidsstyrning på 20 timmar i veckan. Måndag mellan kl. 15-21 och lördag samt söndag mellan kl. 10-17. Utöver detta finns även en forceringsknapp ifall behov finns för ytterligare ventilation.

LB03 är placerat i plan 300 och betjänar en studio i Stora Teatern på planet under. Detta aggregat var, innan drifttidsändringarna gjordes hösten år 2016, inställt på att hålla en kontinuerlig drift vilket innebar att LB03 var igång dygnet runt och året om enligt OVK:n. Dessa drifttider berodde enligt Anders Bjerstaf (2017) på att Studion användes under udda tider för inspelningar och hade även en hög värmealstring. Det skulle dessutom funnits en oro för att instrument och annan utrustning tog skada av temperaturskillnader vilket dels låg till grund för den kontinuerliga ventileringen. Vid drifttidsändringarna sänktes drifttiden för LB03 till 35 timmar i veckan och är i dagsläget igång mån-fre kl. 9-16 enligt KTC. Studios udda användningstider stämmer dock troligtvis även i dagsläget och en forceringsknapp skulle därför vilja installeras enligt Bjerstaf (2017). LB03 är försedd med en värmeåtervinnare av typen roterande värmeväxlare med verkningsgraden 70% (Energideklaration, 2009). Aggregatets utformning visas i Bilaga 8.

Aggregaten LA1 och LA20 betjänar kontor och personalrum med mera på plan 200-600. Båda aggregaten har en roterande värmeväxlare med en verkningsgrad på 70 % enligt energideklarationen. Där är det även givet att båda aggregaten är från 70-talet.

Drifftiderna styrs via tidsstyrning och är satt enligt KTC till mån-fre 7:30-16:00, 42,5 timmar i veckan för båda aggregaten. LA1 och LA20 är även försedda med var sitt elbatteri för uppvärmning av tilluft vid behov. LA1 har ett luftflöde på 260 l/s och LA20 har ett luftflöde på 450 l/s enligt OVK.

Även aggregat TA är från 70-talet och ventilerar bland annat personalrum och en del av restaurangen på plan 200, den förser även toaletter på plan 300. Aggregatet är utrustat med ett elbatteri som uppvärmningskälla men har inte någon värmeåtervinning. Drifftiden för TA är 87 timmar i veckan, tis-tors kl. 10-24 och fre-sön kl. 10-01.

I Stora Teatern finns två ventilationsaggregat med samma namn, TA1. Den ena förser restaurangen medan den andra förser nattklubben med tilluft och frånluft. TA1(nattklubb) är det enda aggregatet som enligt Anders Bjerstaf, fastighetstekniker på Higab, inte är igång året om då Stora Teaterns nattklubb endast bedrivs under sommaren i cirka 12 veckor. Detta aggregat är inte försedd med värmeåtervinning utan är endast utrustat med ett vätskekopplat värmebatteri. TA1(nattklubb) har ett flöde på 840 l/s enligt OVK:n och är igång 168 timmar i veckan under de veckor då nattklubben är öppen. Aggregatet installerades i Stora Teatern under 70-talet.

TA1(restaurang) har en drifftid på 87 timmar i veckan, kl. 10-24 tis-tors och kl. 10-01 fre-sön. Till aggregatet tillhör även ytterligare en tilluftsfläkt TF1 som har en kontinuerlig drift. Anders Bjerstaf har under platsbesök förklarat att det uppstått mycket höga temperaturer i köket då många kylar och frysar är placerade i ett litet utrymme. Detta är troligtvis anledningen till den kontinuerliga driften av TF1 då värme vill föras bort. TA1(restaurang) är utrustat med två elbatterier men ingen värmeåtervinning. Aggregatet är det äldsta i Stora Teatern och installerades på 60-talet, så även TF1.

Det finns även ett mindre aggregat TA2 med frånluftsfläkt FF2 som betjänar loger och kontor med mera på plan 200-700. Detta aggregat är från år 1972 och har enligt energideklarationen relativt hög fläkteffekt vilket medför en hög energianvändning. Drifftiden för det här aggregatet är 112 timmar i veckan. TA2 har ett luftflöde på 2920 l/s enligt energideklarationen.

3.2.1 Energianvändning – luftburen el

Med hjälp av energideklarationen gjord av GICON Installationsledning år 2009, OVK:n från Ventilationskontroll AEOLUS AB år 2014 samt styr- och övervakningssystemet KTC har en tabell tagits fram där en total energianvändning av Stora Teaterns luftburna el beräknats. Detta innefattar samtliga ventilationsfläktar och elbatterier i teatern. Drifftiderna är hämtade från KTC då dessa tider är mest uppdaterade. Luftflöden är hämtade från OVK:n och uppmätta fläkteffekter är hämtade från energideklarationen. För de aggregat som är utrustade med värmeåtervinning har verkningsgrader även hämtats från energideklarationen.

För aggregaten LB01 som betjänar Stora scenen, LB02 som betjänar Lilla scen samt LB03 som betjänar Studion är inga fläkteffekter uppmätta. Istället har fläktarnas märkeffekter använts vid beräkningar och är angivna i OVK:n. Detta är värden som redan är givna vid inköp av fläktarna och förklarar deras maxeffekt vid kontinuerlig drift (Trüschel, 2017). Märkeffekten är alltså troligtvis inte den verkliga effekten som beror på hur belastad fläkten är.

Med varaktighetsdiagram, förklarade i kapitel 2.5, har även energianvändningen för aggregatens elbatterier beräknats. Elbatteriernas energianvändningar är givna i tabellen som redovisas i Bilaga 3 och räknas in under Stora Teaterns luftburna el.

Eftersom ändringar gjordes av drifttiderna för ventilationsaggregaten i Stora Teatern under hösten år 2016 är den totala årsförbrukningen som beräknats i Bilaga 3 inte överensstämmande med den verkliga årsförbrukningen för år 2016. För att kunna få fram ett mer ackurat värde har därför även en tabell för årsförbrukningen med de gamla drifttiderna tagits fram och redovisas i Bilaga 4. Dessa två tabeller har sedan använts för att uppskatta ett medelvärde som ska reflektera den verkliga årsförbrukningen under år 2016.

Den summerade årliga energianvändningen för den luftburna elen beräknas till ca 321 MWh varav 124 MWh är förbrukningen från elbatterierna. Dessa värden har alltså tagits fram när de nya drifttiderna använts. Används istället de gamla drifttiderna för Stora Teatern blir den summerade årliga energianvändningen för den luftburna elen 477 MWh varav 186 MWh är förbrukningen från elbatterierna. I de bifogade tabellerna är varje enskild fläkt och elbatteri uträknad. Fläktarnas årsförbrukning har räknats ut genom att multiplicera drifttiderna med fläkteffekterna för varje aggregat. Detta värde har sedan multiplicerats med antalet veckor som aggregatet är igång vilket är 52 veckor för samtliga aggregat förutom TA1(nattklubb) som bara är igång 12 veckor.

Som nämns ovan är några av fläkteffekterna i bifogade tabeller märkeffekter. Resterande uppmätta fläkteffekter, hämtade från energideklarationen, är från år 2009 och möjligheten finns därför att effekterna inte är samma i dagsläget. Elförbrukningen för elbatterierna är teoretiskt framtagna där vissa antaganden har gjorts för att möjliggöra beräkningarna. Den totala energianvändningen för den luftburna elen kan därför inte ses som den verkliga, men bör kunna användas som ett rimligt uppskattat värde vid energikartläggningen.

Jämförs den årliga energianvändningen där de gamla drifttiderna gäller med den årliga energianvändningen för de nya drifttiderna syns en tydlig skillnad. Ca 156 MWh sparas årligen med de nya drifttiderna. För att uppskatta den verkliga årsförbrukningen under år 2016 tas ett medelvärde fram där de gamla drifttiderna används mellan månaderna januari-augusti och de nya drifttiderna används mellan månaderna september-december. Den summerade årsförbrukningen år 2016 för den luftburna elen beräknas då till ca 424 MWh varav 165 MWh är förbrukningen från elbatterierna.

Higab har nyligen gjort en uppmätning av Stora Teaterns A_{temp} . Detta är den invändiga arean för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10°C i byggnaden (Boverket, 2014). Vid beräkning av byggnadens specifika energianvändning är det A_{temp} man utgår från. A_{temp} för Stora Teatern uppmättes till 7894 m². Den specifika elanvändningen av Stora Teaterns luftburna el beräknas då till 53,7 kWh/m² för året 2016.

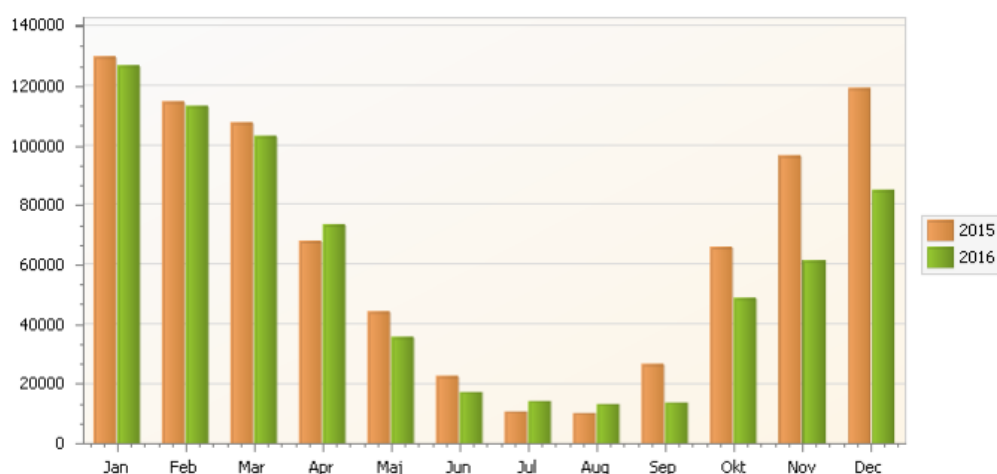
3.3 Fjärrvärme Stora Teatern

I Stora Teatern används fjärrvärme för att värma upp byggnaden via radiatorer och vätskekopplade värmebatterier. Ett exakt antal radiatorer är svårt att uppskatta och Roger Ternell, fastighetsförvaltare för byggnaden, vågade heller inte göra en

uppskattning. Givet är dock att alla lokaler i byggnaden inte är utrustade med radiatorer. Stora scenen är till exempel uppvärmd med luftvärme och i foajé samt entrédel finns en avsaknad av radiatorer. Detta dels på grund av regler för byggnadsminnen men också för att det finns en brist på utrymme (Ternell, 2017). Vattenburna radiatorer finns heller inte i trappuppgångar, dessa utrymmen kompletteras istället med elradiatorer. För att reglera radiatorernas temperaturer används termostater i Stora Teatern och enligt Ternell (2017) byts dessa kontinuerligt.

Majoriteten av alla värmebatterier som är inbyggda i Stora Teaterns ventilationsaggregat är av typen elbatterier. Dessa är alltså inte drivna av fjärrvärme. I aggregaten LB01, TA1, TA2 och LB03 är dock vätskekopplade värmebatterier installerade och dessa värms upp av fjärrvärme.

Tappvarmvatten är uppvärmt kranvatten, detta har alltså värmts upp av fjärrvärmen. Vattnet som används vid spolning i toaletter är kallvatten som då inte värms upp. Det finns ungefär 40 toaletter i Stora Teaterns byggnad, de flesta av dessa är lokaliserade vid restaurangen/källaren på plan 200 och vid entréplan. Det varmvatten som används vid toaletterna går enbart till handfaten. I restaurangen och köket kan en stor andel varmvatten antas användas för till exempel diskning och städning. Anders Bjerstaf berättar även under ett möte att varmvatten har använts i restaurangen för att tina upp fryst kött. Det finns även några omklädningsrum där artister och liknande kan byta om och duscha. I dessa omklädningsrum går det åt fjärrvärme för att värma varmvattnet till duscharna.



Figur 3.3 Årsförbrukningen av Stora Teaterns fjärrvärmeanvändning i kWh för åren 2015 och 2016. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Figur 3.3 är framtagen av Göteborg Energi och visar den normalårskorrigerade fjärrvärmeanvändningen för Stora Teatern. En tabell görs varje år där det aktuella årets förbrukning jämförs med föregående år. En normalårskorrigerering görs för att beakta utomhustemperaturerna för det aktuella året (Schulz, 2003). Har utomhusklimatet under ett år varit ovanligt kallt kommer detta med stor sannolikhet leda till att värmeanvändningen ökar. Detta tas i hänsyn vid en normalårskorrigerering vilket ger ett mer korrekt värde, oberoende av uteklimatet (Schulz, 2003).

För att kunna göra en normalårskorrigerering används graddagar. Detta är ett begrepp som beskriver hur mycket den aktuella dygnsmedeltemperaturen skiljer sig från referenstemperaturen. SMHI använder $+17^{\circ}\text{C}$ som referenstemperatur. Är

dygnsmedeltemperaturen exempelvis +7 °C kommer 10 graddagar läggas till för detta dygn (SMHI, 2016). Detta leder till att graddagarna under vintermånaderna ofta är höga då temperaturerna i Sverige är låga. För de dygn som dygnsmedeltemperaturen är högre än referenstemperaturen erhålls inga graddagar (SMHI, 2015).

Det som räknats in i fjärrvärmeanvändningen för Stora Teatern är uppvärmning av radiatorer och tappvatten samt vätskekopplade värmebatterier för luftaggregaten LB01, TA1, TA2 och LB03. Det framgår inte i diagrammet från Göteborg Energi hur fördelningen av värme för nämnda installationer ser ut. Det är därför svårt att uppskatta hur mycket energi som går åt till uppvärmning av radiatorer, uppvärmning av de vätskekopplade värmebatterierna och hur mycket som går åt till tappvattnet. Ett sannolikt antagande är dock att större delen av den totala fjärrvärmeanvändningen utgörs av uppvärmningen av radiatorerna och de vätskekopplade värmebatterierna då teatern, med sin ålder, inte är optimal i sin värmeisoleringsförmåga. Ett exempel på detta är Stora Teaterns yttertak som i dagsläget inte är isolerat. Det finns heller inget som antyder att Stora Teaterns användning av tappvarmvatten skulle vara påpekande hög. Den tydliga skillnaden på värmeanvändning i januari och september tyder också på att uppvärmningen av lokalerna är dominerande. Det kommer krävas en större mängd värmetillförsel av radiatorerna och de vätskekopplade värmebatterierna i januari månad jämfört med september. Användningen av tappvarmvatten lär dock vara någorlunda lika då öppettiderna för Stora Teatern är samma under dessa månader. Den stora skillnaden mellan månaderna kan alltså då tänkas vara enbart minskning av radiatorernas och de vätskekopplade värmebatteriernas fjärrvärmeanvändning.

I Figur 3.3 syns tydligt hur fjärrvärmeanvändningen minskar från september till december 2016 jämfört med föregående år. Detta är sannolikt en följd utav drifttidssänkningen som gjordes under denna period vilket ledde till en minskad fjärrvärmeanvändning av de vätskekopplade värmebatterierna i Stora Teaterns ventilationsaggregat.

Tabell 3.1 Fjärrvärmeanvändningen för Stora Teatern mellan åren 2013-2016. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Rubrik	Enhet	2013	2014	2015	2016	15/16
Värmeanvändning	MWh	657,5	639,1	734,6	677,13	-7,8 %
Graddagar	GD	3328	2829	3019	3151	4,4 %
Korrigerad värmeanvändning	MWh	659,11	731,68	812,73	702,81	-13,5 %
Korrigerad värmeanvändning per m ²	kWh/m ²	103,8	115,23	127,99	110,68	-13,5 %

Tabell 3.1 är tagen från Göteborg Energi och visar totalvärden för fjärrvärmeanvändning i Stora Teatern och graddagar för de fyra senaste åren. År 2015 var värmeanvändningen något högre än de andra åren och år 2016 syns en tydlig procentuell minskning jämfört med föregående år. År 2016 var Stora teaterns korrigerade fjärrvärmeanvändning 702,81 MWh.

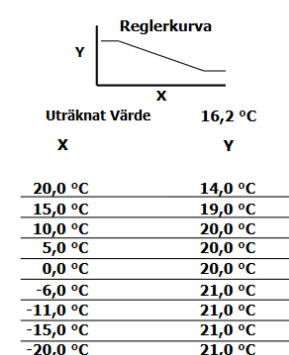
Som nämns i kapitel 3.2.1 har Higab nyligen gjort en uppmätning av Stora Teaterns A_{temp} vilket alltså är den invändiga arean för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10°C i byggnaden (Boverket, 2014). Vid beräkning av byggnadens specifika energianvändning är det A_{temp} man utgår från. A_{temp} för Stora Teatern uppmättes till 7894 m². Den korrigerade värmeanvändningen per m² blir då 89,03 kWh/m² för år 2016. Detta är en tydlig skillnad från värdet som angavs av

Göteborg energi i tabellen ovan. Anledningen till detta är att Göteborg Energi har använt arean 6350 m², vilket är arean som Stora Teatern anger på sin hemsida. Detta är troligtvis byggnadens lokalarea alternativt den uthyrbara arean men alltså inte den area som används för att räkna ut den specifika värmeanvändningen.

3.3.1 Beräkning av vätskekopplade värmebatterier

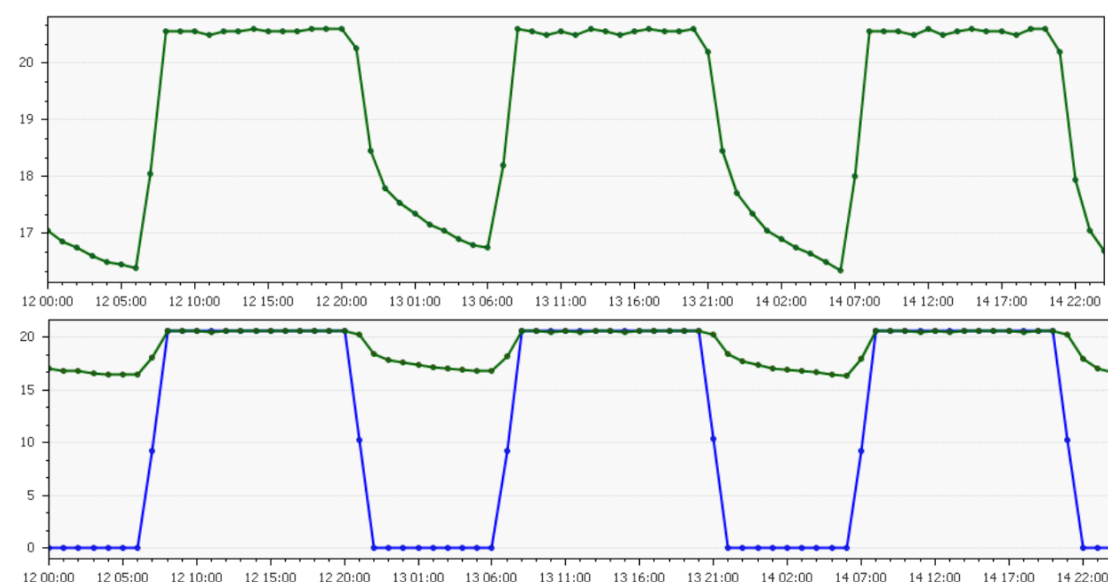
Med hjälp utav ett varaktighetsdiagram (förklarat i kapitel 2.5) över Göteborg, gjort av avdelningen för installationsteknik på Chalmers tekniska högskola, har teoretiska energianvändningar tagits fram för Stora Teaterns vätskekopplade värmebatterier. Dessa beräkningar tyder på att värmeanvändningen för de vätskekopplade värmebatterierna i aggregaten LB01, TA1, TA2 och LB03 utgör en stor del av den totala fjärrvärmeanvändningen.

Stora Teatern-LB01-GT11: 21,6 °C



Figur 3.4 Reglerkurva för LB01. (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Aggregat LB01 regleras för att hålla en tilluftstemperatur som visas i Figur 3.4. Med uppskattningen att medeltemperaturen av denna tabell är 20°C och drifttiden är 91 timmar i veckan räknas det vätskekopplade värmebatteriets gradtimmar fram till 56 875 °Ch. Med hjälp av formeln $Q = \rho * c_p * \dot{V} * \Delta T$ (förklarat i kapitel 2.5) kan det vätskekopplade värmebatteriets energianvändning beräknas. Det vätskekopplade värmebatteriet i LB01 förbrukar då 238,9 MWh/år. Detta är ett högt värde och anledningen ligger i att aggregatet värmer ett stort utrymme samt att ingen värmeåtervinning är tillgänglig. Den beräknade energianvändningen är dock troligtvis något högre än den verkliga då aggregatet inte är igång under nattetid när utetemperaturen är som kallast. En djupare förklaring på detta finns i kapitel 2.5.



Figur 3.5 Regler- och temperaturkurvor för LB01. (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Diagrammen i Figur 3.5 är hämtade från styr- och övervakningssystemet KTC och visar tilluftstemperaturen från aggregat LB01 under ett tidsspänn på tre dygn. De gröna kurvorna är den verkliga temperaturen som mäts upp av en temperaturgivare

installerad i tilluftskanalen och den blåa kurvan är regleringen av tilluften. Regleringen i LB01 kan ses som en fungerande reglering där tilluftstemperaturen ligger på samma nivå som den tilltänkta temperaturen. Den blåa kurvan visar hur aggregatet stängs av nattetid vilket leder till att temperaturen i tilluftskanalen sjunker med ca 4°C. Temperaturminskningen sker eftersom aggregatet ligger på en vindsvåning som har en kallare temperatur än 20 °C.

Aggregat TA1(nattklubb) med drifttiden 168 timmar i veckan är reglerat för att hålla en tilluftstemperatur på 18 °C och är endast igång under sommaren när Stora Teaterns nattklubb är öppen (Bjerstaf, 2017). Aggregat TA1 är inte utrustad med någon värmeåtervinnare. Då aggregatet inte är igång året om har medeltemperaturer, hämtade från SMHI, använts för att ta fram aggregatets gradtimmar under sommarperioden. Gradtimmarna räknades fram till 2 856 °Ch som sedan användes till att beräkna energianvändningen på 2,8 MWh/år. Trots att aggregat TA1 inte har någon värmeåtervinning är alltså energianvändningen relativt låg vilket är logiskt då användningsperioden är mycket lägre än för andra aggregat och TA1 används dessutom bara under sommartid då utetemperaturen är som varmast för året.

Aggregaten TA2 och LB03 är utrustade med värmeåtervinnare (roterande värmeväxlare för LB03 och vätskekopplade värmeåtervinnare för TA2). Detta leder till en tydlig minskning av de vätskekopplade värmebatteriernas energianvändning då värmen från frånluften kan återvinnas. Värmeväxlaren för LB03 har en verkningsgrad på 70% enligt Stora Teaterns energideklaration. När värmeåtervinningen togs i hänsyn och samma beräkningsprocess användes blev den årliga energianvändningen för värmebatteriet i LB03 5,4 MWh/år. En verkningsgrad för värmeåtervinnaren i aggregat TA2 finns inte tillgänglig men om 50% antas, vilket kan ses som en normal verkningsgrad för vätskekopplade värmeåtervinnare (Trüschel, 2017), blir den årliga energianvändningen 98,9 MWh/år för det vätskekopplade värmebatteriet. TA2:s energianvändning är alltså betydligt högre än LB03:s. Förklaringen till detta är främst det höga luftflödet som produceras från aggregat TA2 där en större volym måste värmas upp.

3.3.2 Summering av fjärrvärmeanvändningen

Summeras energianvändningen för Stora Teaterns vätskekopplade värmebatterier blir den totala förbrukningen 346 MWh/år. Detta värde är framtaget då drifttider som infördes i september 2016 använts. Innan detta användes de gamla drifttiderna som finns tillgängliga i Bilaga 4 för varje enskilt aggregat. För att kunna ta fram ett ackurat värde av de vätskekopplade värmebatteriernas fjärrvärmeanvändning år 2016 måste alltså förbrukningen med de gamla drifttiderna inräknas. Dessa förbrukningar har räknats ut på samma sätt som i kapitel 3.3.1 men med de gamla drifttiderna. Värmebatteriernas fjärrvärmeanvändning beräknas då till 527 MWh/år. Driftidsändringen sänker alltså fjärrvärmeanvändningen med 181 MWh/år.

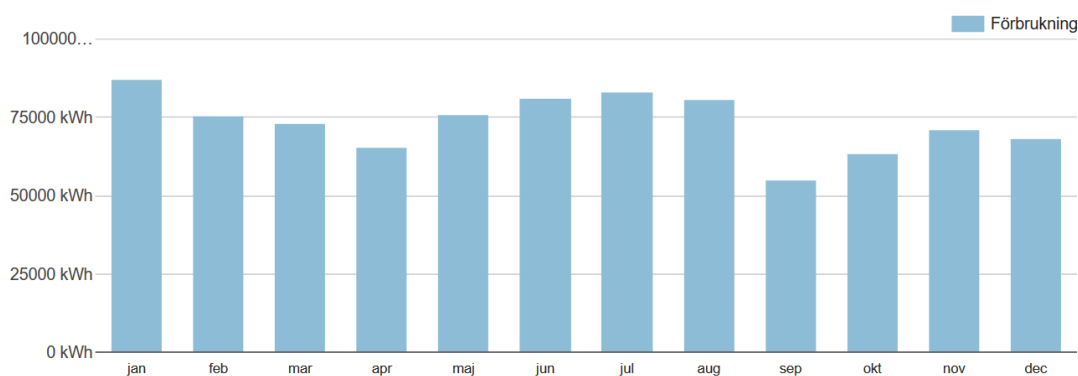
För att kunna få fram den mest verklighetsenliga fjärrvärmeanvändningen av de vätskekopplade värmebatterierna i Stora Teatern har ett medelvärde tagits fram mellan förbrukningen av de gamla och nya drifttiderna. Ca 70% av den totala fjärrvärmeanvändningen under år 2016 förbrukades när de gamla drifttiderna var i bruk och ca 30% förbrukades när de nya drifttiderna var i bruk. När detta tas i hänsyn beräknas den verklighetsenliga fjärrvärmeanvändningen till 473,2 MWh för de vätskekopplade värmebatterierna i Stora Teatern under år 2016.

Som visas i kapitel 3.3 var den korrigerade värmeanvändning 702,81 MWh för Stora Teatern år 2016. Jämförs detta värde med den uträknade värmeanvändningen för samtliga vätskekopplade värmebatteri framgår det att dessa utgör ca 67% av den totala fjärrvärmeanvändningen i Stora Teatern år 2016. Den beräknade energianvändningen från de vätskekopplade värmebatterierna kan dock inte ses som exakt då förenklingar och uppskattningar gjorts. Värdet bör dock vara ackurat nog för bevisning av att de vätskekopplade värmebatterierna i Stora Teatern utgör majoriteten av den totala fjärrvärmeanvändningen. Nämnvärt är att fjärrvärmeanvändningen av de vätskekopplade värmebatterierna kommer vara betydligt lägre under år 2017 då de nya drifttiderna kommer gälla under hela året.

Om 67% av Stora Teaterns fjärrvärmeanvändning går åt till de vätskekopplade värmebatterierna återstår 33% av förbrukningen som utgörs av radiatorernas och tappvarmvattnets uppvärmning. Som nämnts i kapitel 3.3 bör tappvarmvattnet utgöra en relativt liten del av den totala fjärrvärmeanvändningen. I Figur 3.3 visas det tydligt hur fjärrvärmeanvändningen minskar drastiskt under sommarmånaderna då i princip ingen uppvärmning av byggnaden behövs. Enligt Göteborg Energi användes 14 MWh i september år 2016 och om antagandet görs att den största delen (ca 80%) utgörs av uppvärmning av tappvarmvatten förbrukar det då 11 MWh. Enligt SMHI var medeltemperaturen 17 °C under september år 2016 vilket är 3,5 °C varmare än normaltemperaturen under september månad (SMHI, 2017). Detta syns tydligt om man jämför fjärrvärmeanvändningen under september mellan år 2015 och år 2016 i Figur 3.3 vilket styrker antagandet att i princip ingen uppvärmning av byggnaden krävdes under september år 2016. Förbrukningen av tappvarmvatten bör ungefär vara samma året om så om 11 MWh multipliceras med 12 månader blir den årliga fjärrvärmeanvändningen för tappvarmvatten 132 MWh, detta är ca 19% av den totala fjärrvärmeanvändningen i Stora Teatern år 2016. Kvar är då 14% av fjärrvärmeanvändningen som antas gå till uppvärmning av radiatorerna i Stora Teatern.

3.4 Elstatistik Stora Teatern

Den totala elförbrukningen för Stora Teatern innefattar både fastighetsel och verksamhetsel. Detta är alltså både elförbrukning för drift av byggnaden, till exempel för fläktar, pumpar, elbatterier, fast belysning och elradiatorer, men också elförbrukning från verksamheten i byggnaden som till exempel för scenbelysning, datorer, scenkranar och kök.



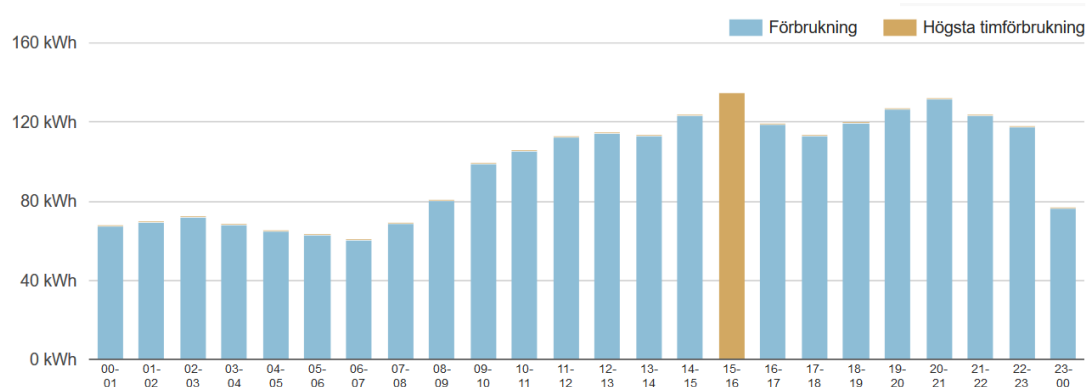
Figur 3.4 Elförbrukningen under år 2016 för Stora Teatern. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Figur 3.4 är hämtad från Göteborgs Energis hemsida och visar elförbrukningen av Stora Teatern. Staplarna visar den månatliga elförbrukningen under år 2016. Den totala elanvändningen under år 2016 var 879 958 kWh och om elkostnaden antas vara 1 kr/kWh, vilket är den kostnad som Higab använder vid energiåtgärder (Therning, 2017), hade Stora Teatern en elkostnad på 879 958 kr år 2016.

Det går att utläsa ur diagrammet att elanvändningen är som högst under januari månad. Elanvändningen sjunker sedan något för varje månad mellan februari och mars innan den ökar i maj igen och fortsätter att vara hög under sommarmånaderna. Enligt Roger Ternell, fastighetsförvaltare på Stora Teater, kan detta bero på att restaurangverksamheten då driver uteservering samt nattklubb vilket gör att uteköket går på fullvarv stora delar av dygnet. Ternell (2017) fortsätter berätta att det även finns två kylrum för öltankar som rymmer totalt 5000 liter. Dessutom är två kylcontainers och en fryscontainer i drift under sommaren vilket medför en ökad elanvändning.

Tidigare har fläktarnas och elbatteriernas förbrukningar beräknats i kapitel 3.2.1. Den summerade årsförbrukningen för den luftburna elen under år 2016 blev då 424 MWh varav 165 MWh var förbrukningen från elbatterierna. Detta är ungefär hälften (48%) av den totala elförbrukningen under år 2016. Enligt Ternell (2017) är samtliga aggregat igång året om förutom TA1(nattklubb). Detta medför att fläktarnas elanvändning är ungefär samma året om. Med detta i åtanke kan man uppskatta att ungefär 21 600 kWh förbrukas varje månad av Stora Teaterns fläktar.

När den årliga elanvändningen från fläktar och elbatterier reduceras från den totala elanvändningen återstår ca 456 MWh/år. Kvar är då elförbrukning från bland annat fastighetsbelysning, scenbelysning och annan verksamhetsbelysning, kylrum, elradiatorer, datorer och annan elektronik, köksutrustning, scenkranar, hissar med mera. Att särskilja elförbrukningen för dessa olika kategorier är svår då inga värden finns tillgängliga. En djupare utredning av fastighetselen har därför inte gjorts utan det som kan redovisas är att 424 MWh (luftburen el) ingår i fastighetselen samt elförbrukningen av fastighetsbelysning, elradiatorer och Stora Teaterns två hissar.



Figur 3.6 Elförbrukningen den 15 mars år 2016 för Stora Teatern. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Göteborg Energi gör mätningarna på Stora Teaterns elförbrukning varje timme och Figur 3.6 visar elförbrukningen den 15 mars år 2016. Ungefär så här ser elförbrukningen ut under en dag för Stora Teatern där förbrukningen är mellan 50-80 kWh per timme under natten. Enligt Roger Ternell är både utebelysning och fasadbelysning igång nattetid. I restaurangverksamheten finns även ett flertal större

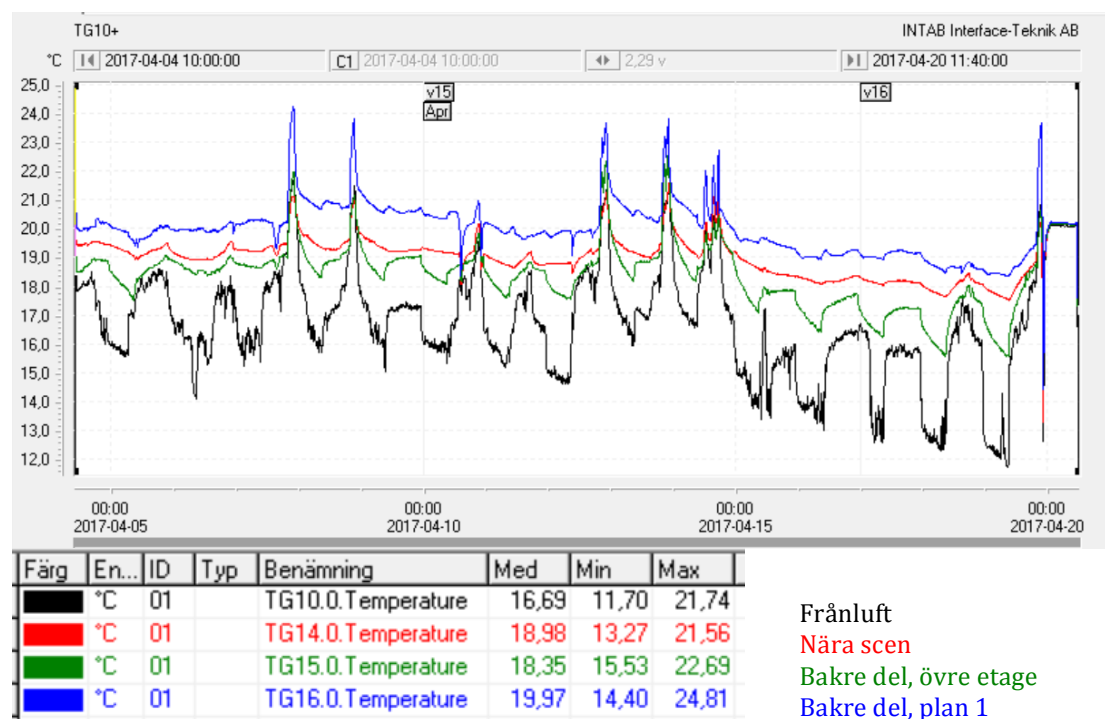
kylar och frysar som är igång dygnet runt. Enligt ventilationsaggregatens drifttider, givna i KTC, är några aggregat igång dygnet runt vilket också bidrar till elförbrukningen nattetid.

Förbrukningen ökar under morgonen till ca 120-150 kWh där den ligger någorlunda kontinuerligt tills kvällen då den sjunker tillbaka till nattvärdena på 50-80 kWh. Elförbrukningen beror på aktiviteter i lokalerna och utetemperaturen. Vid kalla nätter går elbatterierna på högre effekt i de aggregat som är på under natten då tilluftstemperaturen fortfarande ska vara konstant, vilket ger högre elanvändning och variationer i elanvändningen nattetid. Detta gäller även för dagtid då kalla dagar ger högre elförbrukning.

3.5 Mätningar

3.5.1 Temperaturmätningar

Mellan 4/4-17 kl. 10:00 till 19/4-17 kl. 21:00 har temperaturgivare (TG), uppsatta i Stora Teatern, mätt temperaturerna för fyra valda platser i Stora scenen. Temperaturgivarna placerades i närheten av sittplatser vid plan 1, vid sittplatser vid översta planet (övre galleriet) samt vid frånluftsintaget placerat i taket av lokalen. Mätningar har valts att göras i Stora scenen då tvivel på lokalens tilluftscirkulation uppstod efter platsbesök. Samtlig tilluft är placerad vid scenen som sedan främst förs bort genom frånluftsintaget, i mitten av taket. Detta kan möjligtvis leda till att sittplatser i bakre delen av lokalen inte tar del av luftcirkulationen och värme- samt luftproblem uppstår.



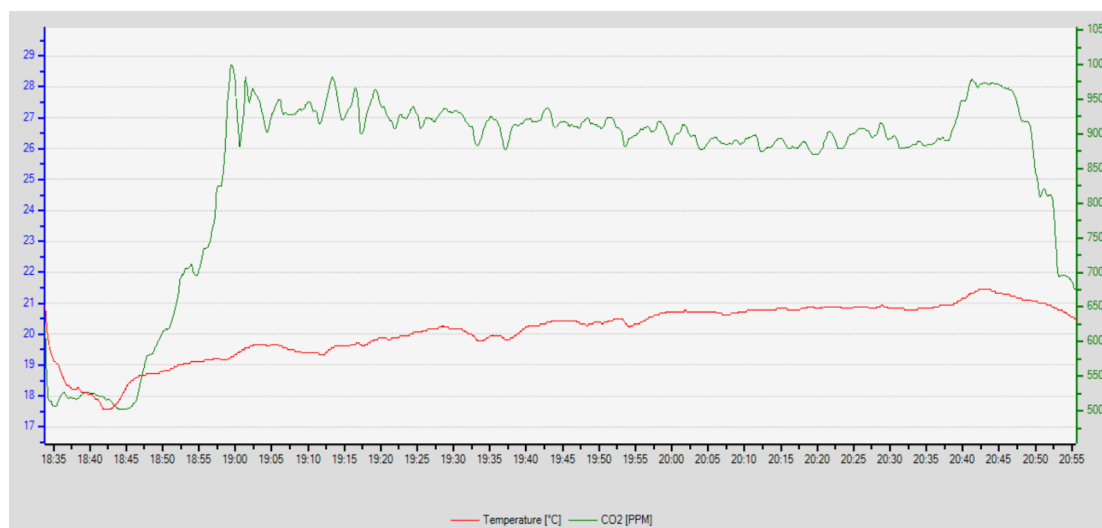
Figur 3.7 Diagram och tabell över uppmätta temperaturer för Stora Scen.

Diagrammet i Figur 3.7 togs fram i programmet EasyView med hjälp av temperaturmätningar av TG10, TG14, TG15 och TG16. Temperaturgivaren TG10 var placerad över takkronan vid frånluftsintaget, TG14 placerades nära scenen, TG15 placerades

längst bak vid översta etaget (övre galleriet) och TG16 placerades i bakre delen av plan 1. Temperaturgivarnas placeringar visas i Bilaga 7. Som det går att utläsa i diagram och tabell, givna i Figur 3.7, var TG16 den mätare som registrerade högst temperaturer. Ur diagrammet kan det utläsas att temperaturerna var som högst under kvällstid vid specifika datum. Dessa datum stämmer överens med de datum då det var föreställningar i Stora scenen. För TG16 kommer temperaturerna vid dessa tillfällen upp till ca 24 °C vilket kan ses som något högt men fortfarande inom ramen för ett godkänt inomhusklimat (Göteborg Stad, u.å). För resterande mätare ligger temperaturen kring 22 °C under föreställningarna vilket får anses som en behaglig inomhustemperatur (Göteborg Stad, u.å).

3.5.2 Koldioxidmätning den 19/4-2017

Den 19/4-17 gjordes även koldioxidmätningar för Stora scenen där två mätare placerades ut, en vid sittplatser på plan 1 samt en vid frånluftsintaget. Mätarnas placering förklaras ytterligare i Bilaga 7. Mätningarna gjordes mellan 18:30-21:00 då en föreställning bedrevs. Lokalen var vid denna föreställning väl befolkad förutom övre etage som inte var tillgänglig för biljettköp. Antalet personer uppskattas grovt till ca 350 personer.



Figur 3.8 Diagram över uppmätt koldioxidhalt i ppm vid frånluftsintag, Stora Scen (19/4 - 17).

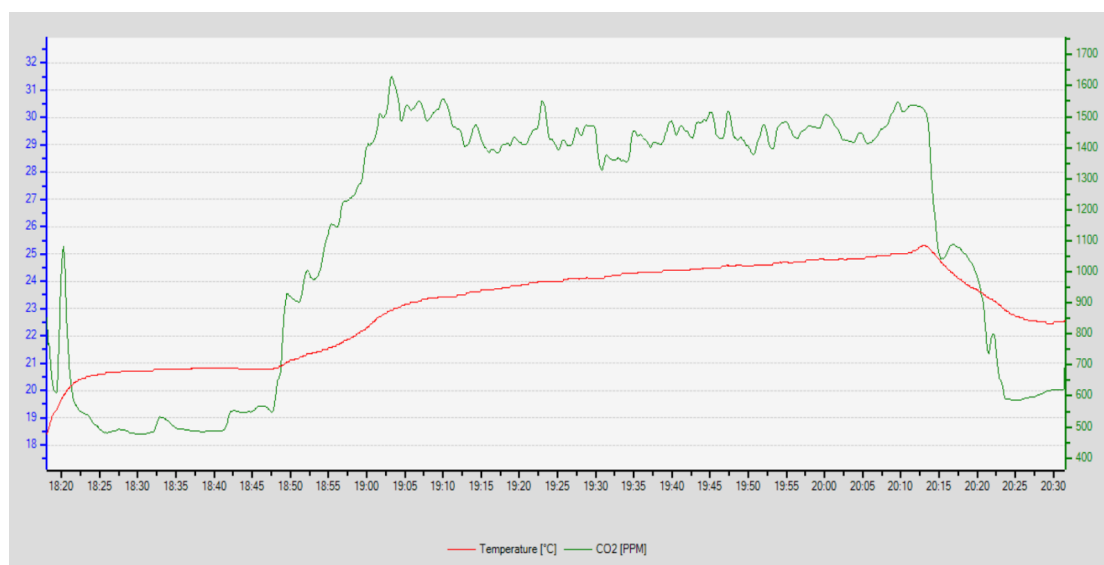
Diagrammet som visas i Figur 3.8 har tagits fram i programmet Rotronic SW21 med hjälp av loggningar från mätinstrument. Mätningen som visas i diagrammet gjordes vid frånluftsintaget där den högsta koldioxidhalten uppmättes. Den gröna kurvan visar koldioxidhalten i ppm (parts per million) under angivet tidsintervall. Föreställningen startade kl. 19:00 och en tydlig stegring av koldioxidhalten kan utläsas då publik anträdde lokalen. Under föreställning är koldioxidhalten någorlunda konstant, runt 950 ppm med en högsta nivå på ca 1000 ppm. Den röda kurvan visar temperaturen där temperaturen kan läsas av i vänstra Y-axeln. Temperaturen stiger svagt uppåt under hela föreställningen och når som högst 21,5 °C, vilket får anses som en behaglig inomhustemperatur (Göteborg Stad, u.å).

Enligt Arbetsmiljöverket (2015) skall en koldioxidhalt under 1000 ppm eftersträvas i publika lokaler. I dessa koncentrat är koldioxiden inte giftig. Koldioxidhalten skall komma upp i 5000 ppm för att nå det hygieniska långtidsgränsvärdet

(Arbetsmiljöverket, 2015). Enligt mätningar gjorda för Stora scenen är alltså koldioxidhalten i linje med de krav som ställs från Arbetsmiljöverket och långt ifrån gränsen för att halterna skall vara skadliga. Mätningen av koldioxidhalten som gjordes vid sittplatserna på plan 1 låg på en betydligt lägre nivå där maxnivån uppmättes till ca 800 ppm.

3.5.3 Koldioxidmätning den 22/4-2017

Den 22/4 gjordes ytterligare en mätning av koldioxidhalterna i Stora scenen under en föreställning mellan kl. 18:20-20:30. Föreställningen hade något mer åskådare än tidigare tillfälle med en publik på ca 400 personer. Denna gång placerades mätutrustningen vid bakre delen av plan 1 där temperaturgivaren TG16 under tidigare mätningar visat att det var som varmast i lokalen. Mätare placerades även vid frånluftsintaget, denna mätare visade i princip samma värden som vid tidigare mätning med en medelnivå runt 1000 ppm. Mätarnas placering förklaras ytterligare i Bilaga 7.



Figur 3.9 Diagram över uppmätt koldioxidhalt i ppm vid bakre delen av plan 1, Stora Scen (22/4 - 17).

Mätdata från utrustningen som placerades i bakre delen av plan 1 visade en högre koldioxidhalt. Diagrammet i Figur 3.9 visar hur halten kraftigt stiger när publiken fyller lokalen och under föreställning ligger koldioxidhalten runt 1500 ppm. Detta är alltså högre än de värden som enligt Arbetsmiljöverket (2015) krävs för en god inomhusmiljö i publika lokaler. Koldioxidhalten som uppmättes är dock inte skadlig men luftkvaliteten kan möjligtvis kännas något obehaglig för vissa åskådare.

Anledningen till de höga halterna koldioxid i den bakre delen av plan 1 är troligtvis på grund utav en sämre luftcirkulation än för andra delar av lokalen. Vid platsbesöket på Stora Teatern misstänktes detta kunna uppstå då tilluft som tillkommer från scenen inte når bakre delar av sittplatserna på samma sätt som för de främre sittplatserna. Enligt mätningar är luftkvaliteten vid bakre delen av plan 1 sämre än luftkvaliteten vid frånluftsintaget. Detta tyder på att luftcirkulationen inte är optimal då frånluften bör vara av sämst kvalitet eftersom det är denna luft som förs bort från lokalen. Den högsta temperaturen uppmättes även vid bakre delen av plan 1 vilket styrker att luftcirkulationen inte fungerar optimalt vid denna del av lokalen.

I bakre delen av översta plan i Stora scenen är några mindre frånluftsdon placerade. Skulle likande don även placeras i bakre delen av plan 1 bör luftkvaliteten förbättras då den försämrade luften förs bort och ny luft tillkommer. Åtgärdens relevans är dock diskutabelt då vistelsen i lokalen normalt inte är längre än ett par timmar och en skaderisk inte är aktuell. Byggnaden är även ett byggnadsminne vilket medför komplikationer vid ombyggnationer och renoveringar.

4 Göteborgs Stadsteater

I följande kapitel kommer energianvändningen av Göteborgs Stadsteater undersökas. Detta innefattar fjärrvärmeanvändning, användning av luftburen el och en total elanvändning. För att kunna göra detta beskrivs Göteborgs Stadsteaters utformning och inbyggda installationer som innefattas i nämnda energianvändningsområden. Beskrivningar av tillvägagångssätt för beräkningar ges löpande i kapitlet.

4.1 Om byggnaden

Göteborgs Stadsteater invigdes år 1934 och är en del av Göteborgs Stadshus AB. Det yttersta ägaransvaret har kommunfullmäktige som utser styrelsen med mera (Göteborgs Stadsteater, u.å).

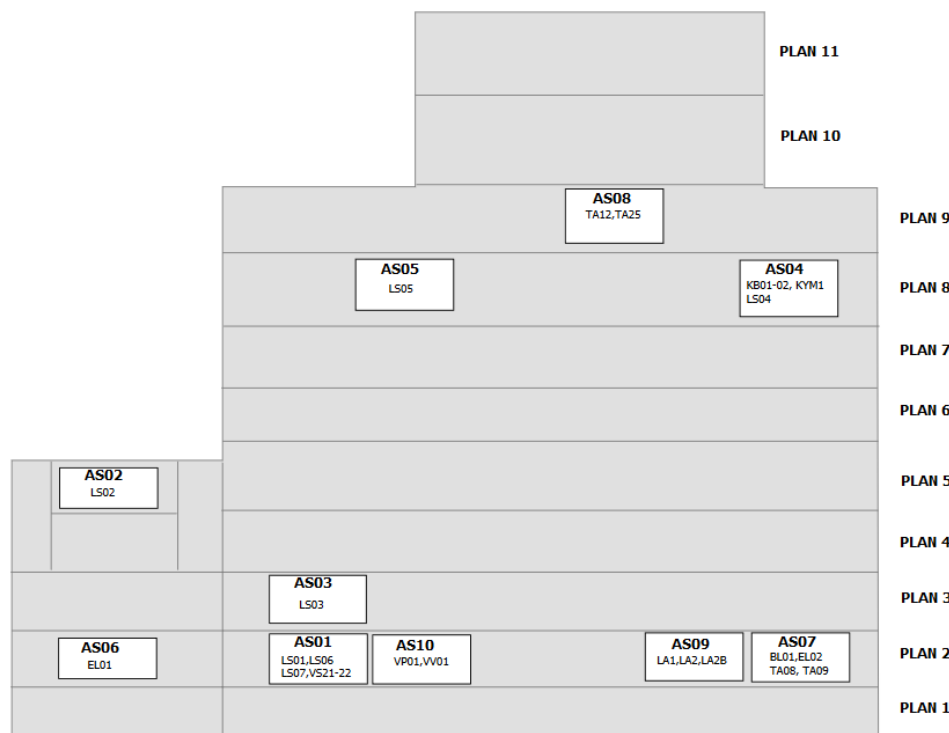
Göteborgs Stadsteater grundades av en donation från flera kulturintresserade göteborgare år 1918. Stadsteatern flyttade då in i Lorensbergsteatern som hade byggts år 1916. År 1934 flyttade verksamheten sedan över till den nybyggda teaterbyggnaden som idag kallas Göteborgs Stadsteater. (Göteborgs Stadsteater, u.å)

Göteborgs Stadsteater är en stor byggnad på 15 100 m² med diverse olika teaterverksamheter. Det finns fyra olika teaterscener i byggnaden enligt teaterns egen hemsida (Göteborgs Stadsteater, u.å) . Stora Scen är den största scenen med plats för ca 600 besökare och ligger centralt i byggnaden på plan 4. I detta plan är även huvudentrén mot Götaplatsen placerad. Den andra scenen heter Studion och har plats för 180 åskådare. Denna scen är belägen högst upp i byggnaden och vetter mot Götaplatsen. Den tredje scenen som heter Lilla Scen är belägen under Stora Scen. Detta är en repetitionsscen som inför hösten år 2017 öppnar för teateruppsättningar. Lilla Scen har plats för 70 personer. I Foajébaren är den fjärde scenen i Göteborgs Stadsteater placerad som framförallt används till konsert och dagens lunchteater. Det är även i Foajébaren som teaterns restaurang och bar finns.

I Göteborgs Stadsteaters teaterverksamhet innefattas även snickerier och målerier, dessa är belägna på plan 7, högst upp i byggnaden. Det finns också smink-, peruk- och labblokalerna som är belägna på plan 4 enligt ritningar över byggnaden.

4.2 Ventilation Göteborgs Stadsteater

Göteborgs Stadsteater har precis som Stora Teatern unika drifttider vilket kräver ett VVS- system som klarar av att uppfylla komfortkraven för personal och besökare som vistas i lokalerna under ett brett tidsspänn. För att dessa krav skall uppfyllas används styr- och övervakningssystemet KTC där samtliga aggregat kan kontrolleras i realtid. Ett exempel på detta visas i Bilaga 8. Ventilationen i Göteborgs Stadsteater kan troligtvis ses som den största utmaningen av VVS-systemen där varierande drifttider och behov av skiftande luftflöden medför höga krav på ventilationsaggregaten. Göteborgs Stadsteater har i dagsläget 10 olika aggregatrum som i sin tur är utrustade med en eller flera aggregat. Utöver detta är ett flertal frånluftsfläktar i bruk som är spridda i byggnadens olika plan.

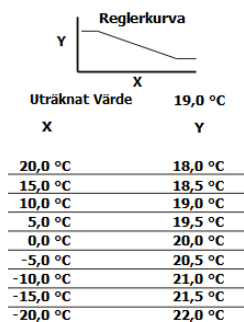


Figur 4.1 Tvärsnittssektion över Göteborgs Stadsteater där aggregatens placering visas. (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Under år 2015 gjordes ett byte av styr- och övervakningsleverantör från Siemens till KTC enligt Thomas Nilsson, fastighetsförvaltare på Göteborgs Stadsteater. Vid detta byte minskades även drifttiderna för Göteborgs Stadsteaters ventilationsaggregat (Nilsson, 2017). Detta medför att drifttiderna som är givna i energideklarationen och OVK:n inte stämmer överens med de drifttider som finns i dagsläget då dessa gjordes innan år 2015. I rapporten har istället drifttider från KTC använts som enligt Peter Löwing, energiingenjör på Higab, är de mest sanningsenliga tiderna.

Aggregat LS06 förser Stora Scen med ventilation genom ett deplacerande system, vilket innebär att undertempererad luft skickas ut via don under stolarna med låg hastighet. Tanken med detta är att när den undertempererade luften värms upp av den omgivande luften så stiger den uppåt och tar med sig den "smutsiga" luften vilket leder till en "ren" zon vid publiken och en "smutsig" zon vid taket. Frånluften förs ut genom taket på Stora Scen och vidare ut genom taket på byggnaden. Tilluftsaggregatet LS06 finns i källaren vilket medför att det inte finns någon värmeåtervinning i aggregatet då avstånden mellan till- och frånluft gör detta problematiskt.

914-LS06-GT202:



Figur 4.2 Reglerkurva för LS06. (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Tilluftstemperaturen regleras med hjälp av utetemperaturen som visas i Figur 4.2 där X är utetemperaturen och Y är den tilltänkta tilluftstemperaturen. Som Figur 4.2 visar ska tilluftstemperaturen vara 20,5 °C när utetemperaturen är -5 °C. Detta är inte optimalt för ett deplacerande system då tilluftstemperaturen är en aning hög men eftersom Stora Scen endast värms upp med ventilation så behöver tilluftstemperaturen vara relativt hög. Det ska heller inte ha förekommit någon större mängd klagomål av anledning för dålig ventilation (Nilsson, 2017).

Det finns 4 olika driftlägen för tilluftsfläkten, dessa lägen förser olika mycket tilluft beroende på aktivitet i lokalen, se tabell 4.1. Driftlägena styrs manuellt vid scenen och har en sammanlagd drifttid på 105 timmar i veckan.

Tabell 4.1 Tilluftsflöde för aggregat LS06. (OVK, 2013).

Grundläge	10 000 m ³ /h
Repetitionsläge	13 000 m ³ /h
Föreställningsläge	20 000 m ³ /h
Pausläge	30 000 m ³ /h

Aggregat LS07 förser Lilla Scen på plan 3 med tilluft och har en drifttid på 98 timmar i veckan enligt KTC. Frånluften förs ut från Lilla Scen vidare upp och ut genom taket. Detta gör att ingen återvinning finns för aggregatet då detta är placerat i källaren bredvid LS06. Tidigare när Göteborgs Stadsteater hade Siemens som styr- och reglerleverantör fanns det problem med Lilla Scen (Nilsson, 2017). När det pågick föreställningar i Stora Scen sjönk tilluften i Lilla Scen vilket medförde att lokalen inte kunde användas optimalt. Grundflödet var tidigare också satt till 0 l/s vilket ledde till att om ingen tryckte på en forceringsknapp i lokalen så fanns det ingen ventilation. Detta är dock åtgärdat och i dagsläget finns det tre olika driftfall, normal drift, tyst drift och forcerad drift (Nilsson, 2017). Flödena för dessa driftfall är inte kända och uppmätningar bör göras.

Studion, som är den näst största scenen i Göteborgs Stadsteater, får sin tilluft via aggregat TA12 som har en drifttid på 98 timmar i veckan enligt KTC. Scenen har plats för 180 besökare. Fastighetsskötarna har haft problem med temperaturen i Studion på grund av att fasaden vetter mot sydväst vilket gör att solen strålar mot fasaden under eftermiddagar och kvällar under sommarhalvåret. Detta leder till att lokalen värms upp av solen och höga temperaturer uppstår i lokalen vilket förklarades av Roberto De Feo, fastighetstekniker på Higab och förvaltar Göteborgs Stadsteater. När detta inträffar behöver lokalen kylas men eftersom inget kylbatteri är implementerat i aggregatet kan rumstemperaturen aldrig bli lägre än utetemperaturen. Aggregat TA12 är från 80-talet och har ett konstant luftflöde vilket även leder till att en luftforcering inte är möjlig när rumstemperaturen är hög. TA12 har värmeåtervinning i form av återluft där frånluft direkt leds tillbaka till lokalen. Denna återluft styrs via en koldioxidmätare (KTC, 2017). På Higabs begäran har konsultföretaget WSP gjort en förstudie om aggregatbyte för TA12 (Löwing, 2017). I denna rekommenderas en implementering av kylbatteri och en roterande värmeväxlare vilket skulle förbättra inomhusklimatet i Studion samt minska energianvändningen från fläktarna (WSP, 2014).

Fastighetsförvaltarna har även problem med entréhallen och foajén (Nilsson, 2017). Entréhallen betjänas av aggregat TA08 och foajén betjänas av aggregat TA09. Dessa två aggregat har en drifttid på 112 timmar i veckan enligt KTC och båda aggregaten har även elbatterier som uppvärmning för tilluften, vilket är ovanligt i Göteborgs Stadsteater. De två aggregaten är gamla och fungerar dåligt i dagsläget. Det finns heller inte några radiatorer i foajén och i entréhallen är endast entréslussen utrustad med radiatorer. Detta medför att det ofta kan bli kallt i båda lokalerna. Thomas

Nilsson förklarar att dessa lokaler inte är byggda för den typ av aktivitet som bedrivs i dagsläget och en upprustning kommer behövas. I nuläget har problemen lösts genom att extra fläktvärmare har kopplats in för att värma upp rummen. Detta är en tillfällig lösning medan fastighetsförvaltarna håller på att utreda en möjlig uppgradering av installationen. Precis som för aggregat TA12 har konsultföretaget WSP gjort en förstudie där ett förslag på aggregatbyte av TA8 och TA9 tagits fram (WSP, 2014). TA8 och TA9 använder även värmeåtervinning i form av återluft på samma sätt som TA12.

Aggregat LS01 betjänar kontor, syateljé, WC med mera. Tilluftsflödet är 1300 l/s enligt energideklarationen. Frånluften går via en gemensam frånluftskanal till aggregatet och sedan vidare upp genom byggnaden och ut genom taket. Detta gör att det finns goda förutsättningar för värmeåtervinning och i aggregatet finns en plattvärmväxlare installerad med verkningsgraden 60% enligt energideklarationen. Det finns även dragskåp i dessa lokaler. Dragskåpen är ihopkopplade till gemensamma frånluftskanaler som inte går via aggregatet utan dras direkt ut genom taket på byggnaden. Detta ifall om något farligt ämne eller gas uppkommer som inte ska spridas i andra delar av byggnaden. Aggregatet har tidsstyrning som är satt enligt KTC till mån-lör kl. 07-18 och sön kl. 10-18, totalt 74 timmar i veckan.

Aggregat LS02 betjänar replokaler i nya delen av Göteborgs Stadsteater. Tilluftsflödet är uppmätt från OVK:n till 690 l/s och frånluftsflödet till 809 l/s. Frånluften går via en gemensam frånluftskanal till aggregatet och sedan vidare ut genom taket på byggnaden. Detta har gjort det möjligt att installera en roterande värmväxlare som har en verkningsgrad på 70%. Drifttiden styrs via tidsstyrning och närvarosensorer. Tidsstyrningen är enligt KTC satt till mån-sön kl. 09-10. Utöver detta uppskattas 4 timmar tillkomma dagligen på grund av närvarosensorerna. Den totala drifttiden av LS02 har då satts till 35 timmar i veckan. Aggregatets utformning visas i Bilaga 8.



Figur 4.3 Bild på aggregat LS03. Författarens egen bild.

Aggregat LS03 betjänar smedjan, smink och kontor. Tilluftsflödet är uppmätt från OVK:n till 636 l/s och frånluftsflödet till 854 l/s. En del av frånluften går via gemensam frånluftskanal till aggregatet och sedan vidare ut genom taket. Det finns även punktutslug i smedjan och i ljud & verkstad. Denna frånluft tas inte genom aggregatet utan direkt ut till taket. Det finns även här värmeåtervinning genom en plattvärmväxlare som har en verkningsgrad på 60%. Drifttiden styrs via tidsstyrning och är satt enligt KTC till 104 timmar i veckan.

Aggregat LS04 betjänar kök, matsal och kontor. Grundflödet för tilluften är uppmätt från OVK:n till 903 l/s och frånluften är uppmätt till 501 l/s. Fläkten har även ett forceringsflöde som kan sättas på manuellt. Hur ofta detta forceringsflöde används är dock inte känt. Frånluften går via gemensam frånluftskanal till aggregatet och sedan vidare ut genom taket. Kökskåpan däremot har en egen frånluftskanal som går direkt

ut genom taket för att inte matos och liknande ska sprida sig i systemet. Frånluftsflödet för kökskåpan är uppmätt till 917 l/s. Det finns en vätskekopplad värmeåtervinning i aggregatet. Drifttiden styrs via tidsstyrning och den är satt enligt KTC till mån-lör kl. 07-23 och sön kl. 7-21, totalt 110 timmar i veckan.

Aggregat LS05 betjänar snickeri och verkstad. Detta aggregat är inte OVK-pliktigt då den enbart betjänar verksamheten och förvaltas inte av Higab.

Aggregat LA1 betjänar omklädningsrum på plan 2. Tilluftsflödet är uppmätt från OVK:n till 665 l/s och frånluftsflödet till 610 l/s. All frånluft går via en gemensam frånluftskanal till aggregatet och sedan vidare ut. LA1 är utrustat med en roterande värmeväxlare med 70% verkningsgrad enligt energideklarationen. Aggregatet är även utrustat med ett elbatteri. Drifttiden för aggregat LA1 är enligt KTC satt till 168 timmar i veckan och har alltså kontinuerlig drift.

Aggregaten LA2 och LA2b är två lite mindre aggregat som förser kontor och pausrum med ventilation. Tillufts- och frånluftsflödet av LA2 har mätts upp från OVK:n till 161 l/s respektive 126 l/s. För LA2b har de mätts upp från OVK:n till 183 l/s i tilluft och 194 l/s i frånluft. Båda aggregaten är utrustade med plattvärmeväxlare med 50% och 60% verkningsgrad. Drifttiden styrs via tidsstyrning för båda aggregaten, LA2 är satt enligt KTC till 71 timmar i veckan och LA2b är satt till 98 timmar i veckan.

Aggregat TA14 betjänar olika förråd. Tilluftsflödet är uppmätt av OVK:n till 434 l/s. Något frånluftsflöde finns varken tillgängligt i OVK:n eller i KTC och det är därför okänt om ett frånluftsdon är installerat. Drifttiden styrs via tidsstyrning och den är satt enligt KTC till 75 timmar i veckan. TA14 är utrustat med ett elbatteri men har inte någon värmeåtervinning.

4.2.1 Energianvändning - luftburen el

Med hjälp av energideklarationen gjord av GICON Installationsledning år 2009, OVK:n från Ventilationsgruppen AB år 2013 samt styr- och övervakningssystemet KTC har en tabell tagits fram där en total energianvändning av Göteborgs Stadsteaters luftburna el beräknats. Detta innefattar samtliga ventilationsfläktar och elbatterier i teatern. Drifttiderna är hämtade från KTC då dessa tider är mest uppdaterade. Uppmätta luftflöden och fläkteffekter är hämtade från OVK:n. För de aggregat som är utrustade med värmeåtervinning har verkningsgrader hämtats från energideklarationen.

Samtliga fläkteffekter som är hämtade från OVK:n är av typen märkeffekt, dessa värden är alltså inte uppmätta på plats utan givna från produktion och kan ses som fläktens maxeffekt (Trüschel, 2017). Märkeffekten är troligtvis inte den verkliga effekten som beror på hur belastad fläkten är. Energianvändningen som fås fram i tabellen bör därför ses som grovt uppskattad. Ett fåtal av Göteborgs Stadsteaters ventilationsaggregat är utrustade med elbatterier då majoriteten är försedda med vätskekopplade värmebatterier. För de elbatterier där tillräcklig bakgrundsinformation funnits har energianvändningen beräknats med hjälp av varaktighetsdiagram. En förklaring på hur varaktighetsdiagram har använts för beräkning av värmebatterier finns i kapitel 2.5.

Den summerade årsförbrukningen under år 2016 för den luftburna elen beräknas till ca 462 MWh, varav ca 127 MWh är förbrukningen av elbatterierna, som visas i

Bilaga 5. Detta värde kan inte ses som troligt då det saknas så pass mycket information från 13 av ventilationsfläktarna i teatern att det inte går att räkna fram deras energianvändningar. Dessa fläktar utgör mer än en tredjedel av det totala antalet fläktar i Göteborgs Stadsteater och anses därför vara en betydande del av energianvändningen. Många av fläktarna där information saknas är även fläktar som förser lokaler där påpekade problem uppstått, exempelvis TA8 och TA9 som förser entré och foajé med ventilation.

För att kunna göra en rimlig jämförelse mellan Göteborgs Stadsteater och Stora Teatern senare i rapporten har en teoretisk uppskattning av energianvändningen från de saknade fläktarna gjorts. I dessa fall har drifttider eller fläktens märkeffekt saknats men har uppskattats med hjälp av känd information från andra fläktar med liknande förutsättningar. Den nya årliga energianvändningen beräknas nu till ca 584 MWh, alltså en ökning med 122 MWh, som visas i Bilaga 6.

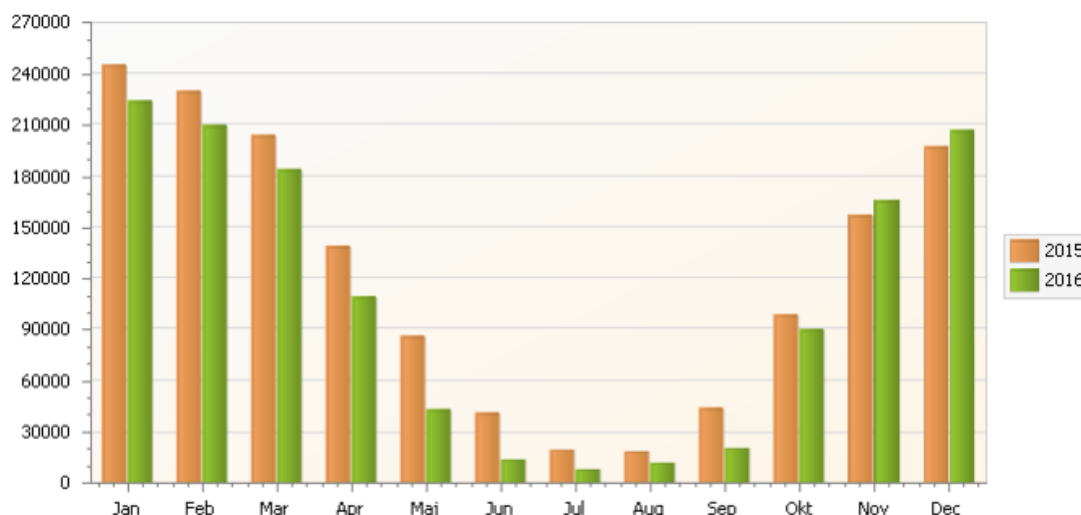
För att kunna beräkna den specifika energianvändningen krävs A_{temp} för Göteborgs Stadsteater. A_{temp} beskrivs i kapitel 3.2.1. Higab har mätt upp A_{temp} till 14 831 m² och om elanvändningen divideras med denna area blir den specifika elanvändningen av den luftburna elen för Göteborgs Stadsteater 39,4 kWh/m².

4.3 Fjärrvärme Göteborgs Stadsteater

Göteborgs Stadsteater värms dels upp med radiatorer men det finns också lokaler som värms upp med tilluft. Ett sådant exempel är Stora Scen som enbart värms upp med hjälp av luftvärme för åskådarna. Göteborgs Stadsteater har även flera lokaler som i dagsläget inte har någon typ av fungerande uppvärmning. I kassahallen (entrén) och foajén finns till exempel inga radiatorer förutom i entréslussen och luftvärmen fungerar inte som önskat som nämnts i kapitel 4.2. För de lokaler där radiatorer är installerade skall termostater enligt Thomas Nilsson, fastighetsförvaltare för Göteborgs Stadsteater, vara monterade och dessa byts kontinuerligt. Under möte berättar Roberto De Feo, fastighetstekniker på Higab, att Göteborgs Stadsteater har problem med vätske-cirkulationen i byggnadens radiatorer och flera lokaler har enligt personalen upplevts vara kalla. Elradiatorer har därför monterats i flera lokaler som till exempel i kontor för att höja värmen.

Tappvarmvatten är uppvärmt kranvatten, detta har alltså värmts upp av fjärrvärmen. Vattnet som används vid spolning i toaletter är kallvatten som då inte värms upp. Det varmvatten som används vid toaletterna går alltså enbart till handfaten. I restaurangen och köket kan en relativt stor andel varmvatten antas användas för till exempel diskning och städning. Det finns även omklädningsrum där artister och liknande kan byta om och duscha. I omklädningsrummen går det därför åt fjärrvärme för att värma varmvattnet till duscharna.

Majoriteten av alla värmebatterier som är inbyggda i Göteborgs Stadsteaters ventilationssystem är vätskeburna system som värms upp av fjärrvärme. Det finns dock några aggregat som till exempel TA8 och TA9 där värmebatteriet drivs på el (KTC, 2017).



Figur 4.4 Årsförbrukningen av Göteborgs Stadsteaters fjärrvärmeanvändning i kWh för åren 2015 och 2016. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Figur 4.4 är framtagen av Göteborg Energi och visar den normalårskorrigerade fjärrvärmeanvändningen för Göteborgs Stadsteater. En tabell görs varje år där det aktuella årets förbrukning jämförs med föregående år. En normalårskorrigerings görs för att beakta utomhustemperaturerna för det aktuella året (Schulz, 2003). Har till exempel utomhusklimatet under ett år varit ovanligt kallt kommer detta med stor sannolikhet leda till att värmeanvändningen ökar. Detta tas i hänsyn vid en normalårskorrigerings vilket ger ett korrekt värde, oberoende av uteklimat (Schulz, 2003).

För att kunna göra en normalårskorrigerings används graddagar. Detta är ett begrepp som beskriver hur mycket den aktuella dygnsmedeltemperaturen skiljer sig från referenstemperaturen. SMHI använder +17 °C som referenstemperatur. Är dygnsmedeltemperaturen exempelvis +7 °C kommer 10 graddagar läggas till för detta dygn (SMHI, 2016). Detta leder till att graddagarna under vintermånaderna ofta är höga då temperaturerna i Sverige är låga. För de dygn som dygnsmedeltemperaturen är högre än referenstemperaturen erhålls inga graddagar. (SMHI, 2015)

Det framgår inte i diagrammet från Göteborg Energi hur fördelningen av värme för nämnda installationer ser ut. Det är därför svårt att uppskatta hur mycket energi som går åt till uppvärmning av radiatorer, hur mycket som går åt till de vätskekopplade värmebatterierna och hur mycket som går åt till tappvattnet. Antagandet görs dock att uppvärmningen av radiatorer och de vätskekopplade värmebatterierna utgör den största delen av fjärrvärmeanvändningen. Den tydliga skillnaden på värmeanvändning i januari och september styrker detta antagande. Det kommer krävas en större mängd värmeförsörjning av radiatorerna och de vätskekopplade värmebatterierna i januari jämfört med september. Användningen av tappvarmvatten lär dock vara någorlunda lika då öppettiderna för Göteborgs Stadsteater är samma under dessa månader. Den stora skillnaden mellan månaderna kan alltså då tänkas vara enbart minskning av radiatorernas och de vätskekopplade värmebatteriernas fjärrvärmeanvändning.

Tabell 4.2 Fjärrvärmeanvändningen för Göteborgs Stadsteater mellan åren 2013-2016. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Rubrik	Enhet	2013	2014	2015	2016	15/16
Värmeanvändning	MWh	1299	1155	1337	1244	-7,0 %
Graddagar	GD	3328	2829	3019	3151	4,4 %
Korrigerad värmeanvändning	MWh	1293	1321	1475	1282	-13,1 %
Korrigerad värmeanvändning per m ²	kWh/m ²	85,62	87,48	97,67	84,87	-13,1 %

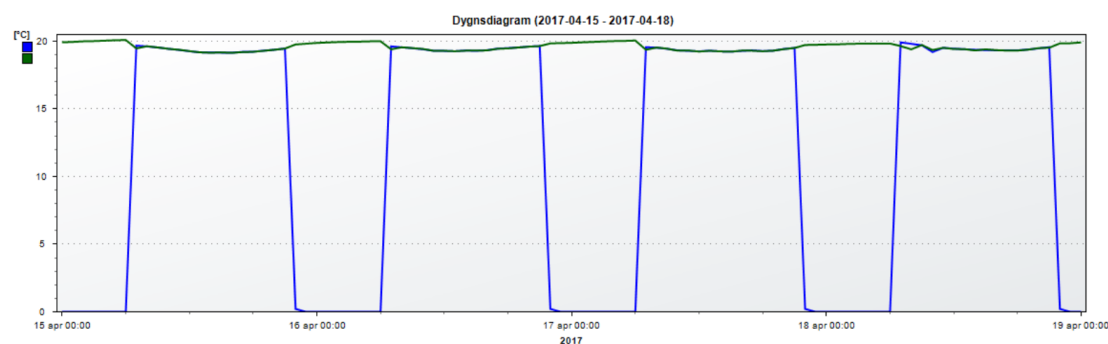
Tabell 4.2 är tagen från Göteborg Energi och visar totalvärden för fjärrvärmeanvändning i Göteborgs Stadsteater och graddagar för de fyra senaste åren. År 2015 var värmeanvändningen något högre än de andra åren och år 2016 syns en tydlig procentuell minskning jämfört med föregående år. År 2016 var den korrigerade fjärrvärmeanvändningen för Göteborgs Stadsteater 1282 MWh.

För Göteborgs Stadsteater uppmättes A_{temp} till 14 831 m² av Higab. A_{temp} beskrivs i kapitel 3.2.1. Vid beräkning för korrigerad värmeanvändning per m² i tabellen har Göteborgs Energi antagit arean 15 100 m² vilket ger en något lägre energianvändning per m² än den verkliga. Den korrigerade värmeanvändningen per m² blir då 86,44 kWh/m² för år 2016 med den korrekta arean för beräkning av specifik värmeanvändning.

4.3.1 Beräkning av vätskekopplade värmebatterier

Med hjälp utav ett varaktighetsdiagram (förklarat i kapitel 2.5) över Göteborg, gjort av avdelningen för installationsteknik på Chalmers tekniska högskola, har teoretiska energianvändningar tagits fram för Göteborgs Stadsteaters vätskekopplade värmebatterier. Dessa beräkningar tyder på att värmeanvändningen för de vätskekopplade värmebatterierna i aggregaten utgör en stor del av den totala fjärrvärmeanvändningen i Göteborgs Stadsteater.

Aggregat LS06, som förser Stora Scen, regleras för att hålla en tilluftstemperatur som visas i Figur 4.2. Med uppskattningen att medeltemperaturen av denna reglerkurva är 20 °C och drifttiden är 105 timmar i veckan räknas det vätskekopplade värmebatteriets gradtimmar fram till 66 938 °Ch, detta visas i Bilaga 1. Med hjälp av formel $Q = \rho * c_p * \dot{V} * A$ (förklarat i kapitel 2.5) kan det vätskekopplade värmebatteriets energianvändning beräknas. Det vätskekopplade värmebatteriet i LS06 förbrukar då 302 MWh/år. Aggregat LS06 har ingen värmeåtervinning, trots att den värmer upp en stor lokal. Detta ligger troligtvis till grund för den höga energianvändningen. Den beräknade energianvändningen är dock troligtvis något högre än den verkliga då aggregatet inte är igång under nattetid när utetemperaturen är som kallast. En djupare förklaring för detta finns i kapitel 2.5



Figur 4.5 Regler- och temperaturkurvor för LS06. (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Figur 4.5 är hämtade från styr- och övervakningssystemet KTC och visar tilluftstemperaturen från aggregat LS06 under ett tidsspann på fyra dygn. De gröna kurvorna är den verkliga temperaturen som mäts upp av en temperaturgivare installerad i tilluftskanalen och den blåa kurvan är regleringen av tilluften. Regleringen i LS06 kan ses som en fungerande reglering där tilluftstemperaturen ligger på samma nivå som den tilltänkta temperaturen. Den blåa kurvan visar hur aggregatet stängs av nattetid vilket leder till att temperaturen i tilluftskanalen stiger något. Anledningen till detta är att aggregatet är placerat i en källare som fortfarande är varm nattetid. Uppskattningen att medeltemperaturen av tilluften är 20°C anses dock vara rimlig.

Aggregat LS07 som är placerad i samma aggregatrum som LS06 har inte heller någon värmeåtervinning. Drifttiden för aggregatet är 98 timmar i veckan och tilluftstemperaturen regleras till 18°C. Med hjälp av varaktighetsdiagram beräknas aggregatets gradtimmar fram till 52 500 °Ch. Vidare beräkning på samma sätt som för LS06 ger aggregat LS07:s energianvändning. Denna blir 78,1 MWh/år.

Aggregaten LS01, LS02, LS03 har alla värmeåtervinnare med verkningsgrader mellan 60-70% enligt energideklarationen. Även LS04 har en värmeåtervinning, dock av typen vätskekopplad värmeåtervinnare vilket medför att verkningsgraden är något lägre på ca 50%. Att aggregaten har värmeåtervinning gör en märkbar skillnad på energianvändningen då en stor del värme kan återanvändas. När värmeåtervinningen togs i hänsyn och samma beräkningsprocess användes som för LS06 blev den summerade energianvändningen 81,6 MWh/år. Den sammanlagda energianvändningen från aggregat LS01, LS02, LS03 och LS04 är alltså drygt en fjärdedel så stor som energianvändningen från LS06.

Aggregaten LA2 och LA2b förser kontor och pausrum med ventilation. Båda aggregaten är utrustade med plattvärmeväxlare med 50% och 60% i verkningsgrad enligt energideklarationen. Energianvändningen från dessa aggregats vätskekopplade värmebatterier var relativt låg med en sammanlagd förbrukning på ca 8 MWh/år, vilket togs fram efter beräkningar med varaktighetsdiagram.

Slutligen är även aggregat TA12 utrustat med ett vätskekopplat värmebatteri. Aggregatets värmeåtervinning är av typen återluft som styrs via en CO₂-mätare (KTC, 2017). Detta medför att verkningsgraden varierar då mängden återluft beror på hur hög CO₂-halten är i lokalen. Vid beräkning med varaktighetsdiagram har därför ett medelvärde av verkningsgraden uppskattats till 60%. Efter beräkning av gradtimmar blir aggregat TA12:s energianvändning 56,1 MWh/år.

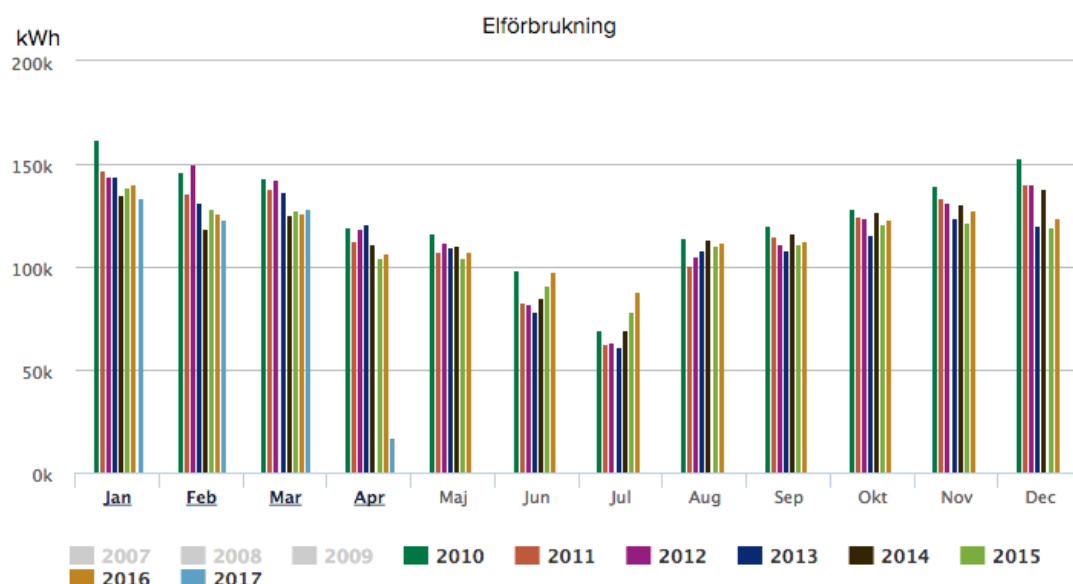
4.3.2 Summering av fjärrvärmeanvändningen

Summeras energianvändningen för Göteborgs Stadsteaters vätskekopplade värmebatterier blir den totala förbrukningen 607,4 MWh för år 2016. Som nämnts tidigare var den korrigerade värmeanvändning 1282 MWh för Göteborgs Stadsteater under samma år. Jämförs detta värde med den uträknade värmeanvändningen för samtliga vätskekopplade värmebatteri framgår det att dessa utgör ca 47% av den totala fjärrvärmeanvändningen år 2016. Den beräknade energianvändningen från de vätskekopplade värmebatterierna kan dock inte ses som exakt då förenklingar och uppskattningar gjorts. Värdet ses dock som ackurat nog för att använda i fortsatta jämförelser.

Om 47% av Göteborgs Stadsteaters fjärrvärmeanvändning går åt till de vätskekopplade värmebatterierna återstår 53% av förbrukningen som utgörs av radiatorernas och tappvarmvattnets uppvärmning. Som nämnts i kapitel 4.3 bör tappvarmvattnet utgöra en relativt liten del av den totala fjärrvärmeanvändningen. I Figur 4.4 visas det tydligt hur fjärrvärmeanvändningen minskar drastiskt under sommarmånaderna då i princip ingen uppvärmning av byggnaden behövs. Enligt Göteborg Energi användes 20 MWh i september år 2016 och om antagandet görs att den största delen (ca 80%) utgörs av uppvärmning av tappvarmvatten förbrukar det då 16 MWh. Enligt SMHI var medeltemperaturen 17 °C under september år 2016 vilket är 3,5 °C varmare än normaltemperaturen under september månad (SMHI, 2017). Detta syns tydligt om man jämför fjärrvärmeanvändningen under september mellan år 2015 och år 2016 i Figur 4.4 vilket styrker antagandet att i princip ingen uppvärmning av byggnaden krävdes under september år 2016. Förbrukningen av tappvarmvatten bör ungefär vara samma året om så om 16 MWh multipliceras med 12 månader blir den årliga fjärrvärmeanvändningen för tappvarmvatten 192 MWh, detta är ca 15% av den totala fjärrvärmeanvändningen i Göteborgs Stadsteater år 2016. Kvar är då 38% av fjärrvärmeanvändningen som antas gå till uppvärmning av radiatorerna i Göteborgs Stadsteater.

4.4 Elstatistik Göteborgs Stadsteater

Den totala elförbrukningen för Göteborgs Stadsteater innefattar både fastighetsel och verksamhetsel. Detta är alltså både elförbrukning för drift av byggnaden, till exempel från fläktar, pumpar, elbatterier, fast belysning och elradiatorer, men också elförbrukning från verksamheten i byggnaden som till exempel från scenbelysning, datorer, scenkranar, snickeri och kök.



Figur 4.6 Elförbrukningen mellan åren 2010-2017 för Göteborgs Stadsteater. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

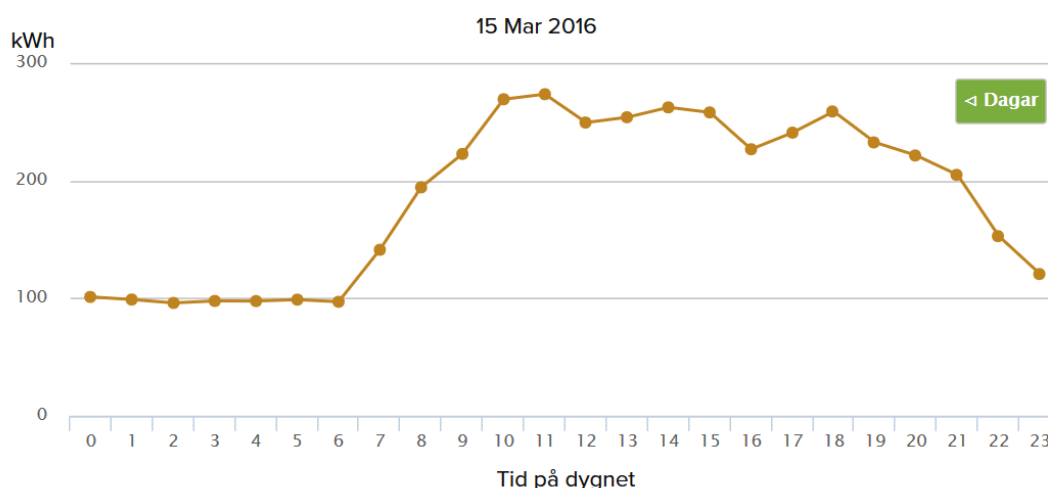
Figur 4.6 är hämtad från Göteborg Energis hemsida och visar elförbrukningen av Göteborgs Stadsteater. Staplarna visar den månatliga elförbrukningen från år 2010 till början på april år 2017. Märkbart är att elförbrukningen under sommarmånaderna är

något mindre än för vintermånaderna men skillnaden är inte alls så tydlig som för fjärrvärmen, visat i Figur 4.4. Detta beror troligtvis på att en mindre del av elen används för uppvärmning vilket gör att förbrukningen av elen under året är relativt jämn till skillnad från fjärrvärmen.

Ca 230 MWh tillkommer även årligen (10-25 MWh månatligen) för den totala elförbrukningen då Figur 4.6 inte inräknar tillbyggnaden av Göteborgs Stadsteater som byggdes under 2000-talet. Med tillbyggnad inräknat ligger Göteborgs Stadsteater på en årlig elförbrukning av ca 1 600 MWh. År 2016 hade teatern en årsförbrukning på 1 615 MWh och om elkostnaden antas vara 1 kr/kWh, vilket är den kostnad som Higab använder vid energiåtgärder (Therning, 2017), hade Göteborgs Stadsteater en elkostnad på 1 615 000 kr år 2016.

I kapitel 4.2.1 har beräkningar gjorts för elförbrukningen av Göteborgs Stadsteaters fläktar och elbatterier. Dessa förbrukar 584 MWh/år varav 127 MWh/år utgörs av elbatterierna. Detta är ungefär 36% av den totala elförbrukningen under år 2016. Enligt Nilsson (2017) och De Feo (2017) har inga regleringar gjorts för att stänga av ventilationsaggregat under en viss period och samtliga aggregat antas därför vara igång året om vilket medför att även fläktarna är igång hela året. En månatlig elförbrukning av fläktarna kan därför uppskattas till 38 000 kWh

När den årliga elanvändningen från fläktar och elbatterier reduceras från den totala elanvändningen återstår ca 1031 MWh/år. Kvar är då elförbrukning från bland annat fastighetsbelysning, scenbelysning och annan verksamhetsbelysning, kylrum, elradiatorer, datorer och annan elektronik, köksutrustning, hissar, verkstadsutrustning med mera. Att särskilja elförbrukningen för dessa olika kategorier är svår då inga värden finns tillgängliga. En djupare utredning av fastighetselen har därför inte gjorts utan det som kan redovisas är att 584 MWh/år (luftburen el) ingår i fastighetselen samt elförbrukningen av fastighetsbelysning, elradiatorer, luftvärmare och hissar i Göteborgs Stadsteater.



Figur 4.7 Elförbrukningen den 15 mars år 2016 för Göteborgs Stadsteater. (Göteborg Energi, 2017). Återgiven med tillstånd.

Göteborg Energi gör mätningarna på Göteborgs Stadsteaters elförbrukning varje timme och Figur 4.7 visar elförbrukningen den 15 mars år 2016. Detta är ett typexempel på hur elförbrukningen ser ut under en dag där förbrukningen under natten ligger runt 100 kWh per timme. Elförbrukningen ökar under morgonen till ca

240-300 kWh där den ligger någorlunda kontinuerligt men det finns även toppar under dagen vid till exempel lunchtid och föreställningar. Elförbrukningen sjunker sedan under kvällen då många går hem, köket stänger ner och så vidare vilket leder till att förbrukningen återgår till grundnivån som finns under natten runt 100 kWh.

Anledningen till att elförbrukningen ligger på 100 kWh under nattetid kan enligt Thomas Nilsson bero på flera orsaker. En del av Göteborgs Stadsteaters belysning som till exempel dimmerljus är igång nattetid. Serverrum och kylrum är även igång dygnet runt i byggnaden. Värmeproblemen som finns i Göteborgs Stadsteater har lett till att värmefläktar används som komplettering vilka ofta är igång dygnet runt. Ventilationsaggregat LA1 är enligt drifttider i KTC igång dygnet runt samt ett flertal frånluftsfläktar vilka också bidrar till elförbrukningen nattetid.

5 Jämförelse mellan Stora Teatern & Göteborgs Stadsteater

I detta kapitel kommer jämförelser göras mellan Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Jämförelser mellan teatrarnas fjärrvärme, ventilation och övrig elanvändning beskrivs samt respektive dels energianvändning. En summering av båda teatrarnas totala specifika energianvändning kommer även beräknas och jämföras mot varandra.

5.1 Luftburen el

Efter sammanställningar av samtliga ventilationsaggregat för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater räknades en teoretisk total energianvändning ut för respektive teaters luftburna el. Stora Teaterns ventilation beräknas ha förbrukat ca 424 MWh år 2016 och Göteborgs Stadsteater beräknas ha förbrukat ca 584 MWh samma år. Av dessa förbrukningar bestod ca 165 MWh av elbatteriernas elanvändning för Stora Teatern och 127 MWh för Göteborgs Stadsteater. Det visar sig ha stor betydelse om elbatterierna är kopplade till ett aggregat med värmeåtervinning. Med en värmeåtervinnare som har en verkningsgrad på 70% kan elbatteriernas energianvändning minskas med ca 70-75% vilket alltså är mer än en halvering. Detta visade sig när test gjordes med varaktighetsdiagram för aggregaten LA1 i Stora Teatern och LS01 samt LA1 i Göteborgs Stadsteater. Dessa aggregat är alltså utrustade med värmeåtervinning och sparar på grund utav detta ca 70-75% i energianvändning.

Den specifika energianvändningen av luftburen el år 2016 beräknas till 53,7 kWh/m² för Stora Teatern, respektive 39,4 kWh/m² för Göteborgs Stadsteater. Göteborgs Stadsteater är den byggnad som förbrukar mest energi men har alltså en lägre energianvändning per kvadratmeter än Stora Teatern. Anledningen till detta kan bero på flera orsaker. Stora Teatern är en gammal byggnad, ca 70 år äldre än Göteborgs Stadsteater, och en sämre värmeisoleringsförmåga kan vara sannolik. Detta leder till transmissionsförluster och en onödigt hög energianvändning. Drifttiderna i Stora Teatern var heller inte optimala år 2016 där många aggregat var igång dygnet runt innan drifttiderna ändrades under hösten. Om dagslägets drifttider hade använts under ett helt år hade den totala energianvändningen från den luftburna elen istället blivit 321 MWh/år med 40,7 kWh/m² som specifik energianvändning av den luftburna elen, ett värde som då hade varit mycket nära Göteborgs Stadsteaters.

En annan faktor till att Stora Teatern har en högre specifik energianvändning för ventilationen än Göteborgs Stadsteater är elbatterierna. Majoriteten av värmebatterierna i Stora Teaterns aggregat är elbatterier medan Göteborgs Stadsteater främst använder vätskekopplade värmebatterier, som då istället räknas in under fjärrvärmeanvändningen. När energianvändningen beräknas i kvadratmeter ger detta stor betydelse eftersom Stora Teatern nästan är hälften så stor som Göteborgs Stadsteater men har fler elbatterier.

Vid överblick av Stora Teaterns aggregat sticker TA1(restaurang) ut. Aggregatet är utrustat med två elbatterier som tillsammans förbrukar ca 86 MWh/år, nästan 70% av den totala energianvändningen från Stora Teaterns elbatterier. Dessa värden har tagits fram när de nya drifttiderna användes i beräkning och förbrukningen är alltså lägre än

innan ändringen gjordes. TA1(restaurang) är inte utrustat med värmeåtervinning och som nämnts tidigare i kapitlet kan detta göra en stor skillnad.

5.2 Total elförbrukning

Den totala elförbrukningen för Stora Teatern under år 2016 var 880 MWh, för Göteborgs Stadsteater var förbrukningen under samma period 1615 MWh. Elförbrukningen var alltså nästan dubbelt så stor för Göteborgs Stadsteater som för Stora Teatern.

Den totala specifika elförbrukningen för Stora Teatern beräknas till $111,5 \text{ kWh/m}^2$ respektive $108,9 \text{ kWh/m}^2$ för Göteborgs Stadsteater. Dessa två värden är väldigt lika och säger att det ungefär är lika stor elanvändning per kvadratmeter i teatrarna. Trots att elförbrukningen för Göteborgs Stadsteater är nästan dubbelt så hög som för Stora Teatern är alltså Göteborgs Stadsteater mer energieffektiv med sin elförbrukning då den har en lägre elförbrukning per kvadratmeter.

I avsnitt 5.1 beräknades den specifika energianvändningen för den luftburna elen och blev $53,7 \text{ kWh/m}^2$ för Stora Teatern respektive $39,4 \text{ kWh/m}^2$ för Göteborgs Stadsteater. Här syns en tydlig skillnad då Stora Teaterns elanvändning för den luftburna elen är ca $14,3 \text{ kWh/m}^2$ större.

Stora Teaterns energianvändning av luftburen el är alltså tydligt högre än Göteborgs Stadsteater per kvadratmeter. Trots detta är teatrarnas totala specifika elförbrukning nästan samma. Detta betyder att den resterande elförbrukningen utöver den luftburna elen är högre per kvadratmeter för Göteborgs Stadsteater. Förklaringen till detta är troligtvis den bredd av verksamheter som bedrivs i Göteborgs Stadsteater där det bland annat finns verkstad, måleri och syateljéer. Dessa verksamheter kräver redskap som är energikrävande och ökar därför den totala specifika elförbrukningen i Göteborgs Stadsteater. Det finns även fler scener i Göteborgs Stadsteater vilket bidrar till en större mängd scenbelysning. Göteborgs Stadsteater använder sig utav en stor mängd elvärme då lokaler har upplevts kalla. Detta har lett till användning av elradiatorer samt fläktvärmare. Denna anledning är dock troligtvis inte den mest avgörande då även Stora Teatern använder sig utav elbatterier.

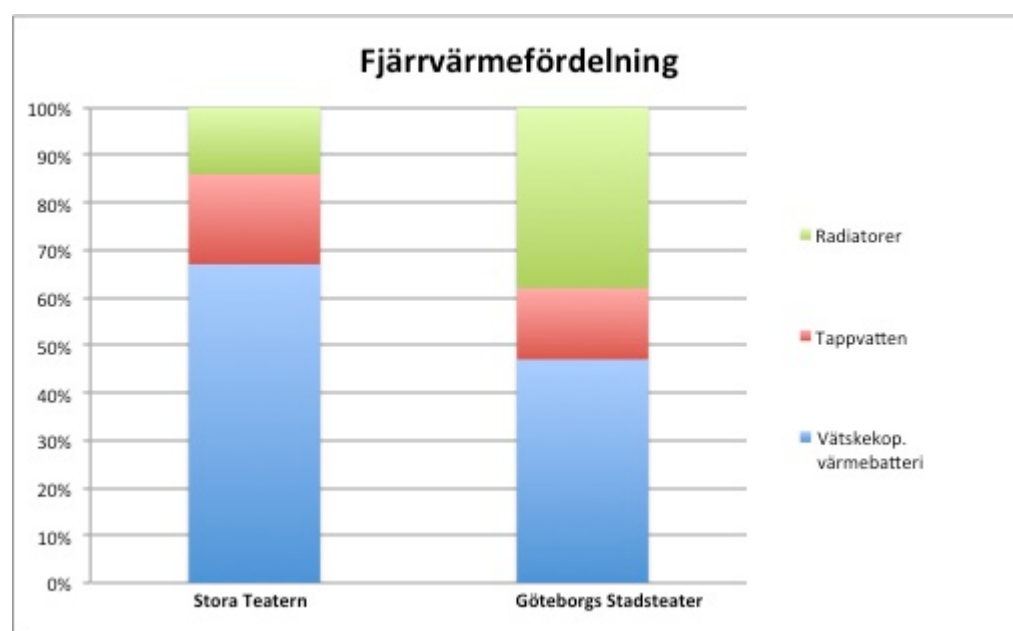
5.3 Fjärrvärme

År 2016 hade Stora Teatern en fjärrvärmeanvändning på 702,81 MWh och Göteborgs Stadsteaters fjärrvärmeanvändning var 1282 MWh samma år. När den specifika fjärrvärmeanvändningen beräknades blev denna $89,03 \text{ kWh/m}^2$ för Stora Teatern och $86,44 \text{ kWh/m}^2$ för Göteborgs Stadsteater. Precis som i jämförelsen mellan teatrarnas elförbrukning i kapitel 5.2 har Göteborgs Stadsteater en högre total fjärrvärmeanvändning men en lägre specifik fjärrvärmeanvändning.

Göteborgs Stadsteater använder sig utav en större mängd vätskekopplade värmebatterier än Stora Teatern men har alltså ändå en lägre specifik fjärrvärmeanvändning. Om enbart teatrarnas vätskekopplade värmebatterier skulle jämföras förbrukar Stora Teatern $59,9 \text{ kWh/m}^2$ och Göteborgs Stadsteater $41,0 \text{ kWh/m}^2$. Även här är alltså Göteborgs Stadsteater mer energieffektiv. Eftersom värdena är från år 2016 är Stora Teaterns drifttider inte optimala då dessa ändrades under hösten. Om dagslägets

drifftider hade använts under ett helt år hade den specifika fjärrvärmeanvändning av de vätskekopplade värmebatterierna istället blivit 43,8 kWh/m² och då haft liknande energieffektivitet som de vätskekopplade värmebatterierna i Göteborgs Stadsteater.

För båda teatrarna används ett vätskekopplat värmebatteri i det aggregat som förbrukar mest energi. Detta är aggregat LB01 för Stora Teatern och LS06 för Göteborgs Stadsteater, båda aggregaten förser respektive teaters största scen. Aggregaten har även gemensamt att varken LB01 eller LS06 är utrustat med värmeåtervinning. LB01:s vätskekopplade värmebatteri utgjorde ca 43% av Stora Teaterns totala fjärrvärmeanvändning under år 2016 och LS06:s vätskekopplade värmebatteri utgjorde ca 22% av Göteborgs Stadsteaters totala fjärrvärmeanvändning under samma år. Dessa förbrukningar utgör alltså en markant del och en implementering av värmeåtervinning bör ses som angeläget för båda aggregaten.



Figur 5.1 Fjärrvärmefördelningen för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater år 2016.

Figur 5.1 visar fördelningen av fjärrvärmeanvändningen i Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater under år 2016. Dessa andelar beräknades fram i kapitlen 3.3.2 och 4.3.2. Fjärrvärmeanvändningen av de vätskekopplade värmebatterierna utgör den största delen för båda teatrarna, 67% av fjärrvärmeanvändningen för Stora Teatern och 47% för Göteborgs Stadsteater. I Figur 5.1 syns även att fjärrvärmeanvändningen från radiatorer utgör en betydligt större del av den totala fjärrvärmeanvändningen i Göteborgs Stadsteater jämfört med Stora Teatern. Dessa andelar är 38% för Göteborgs Stadsteater och 14% för Stora Teatern. Andelen fjärrvärmeanvändningen från uppvärmning av tappvatten är någorlunda lika för båda teatrarna, 15% för Göteborgs Stadsteater och 19% för Stora Teatern.

5.4 Total specifik energianvändning

När den totala el- och fjärrvärmeanvändningen läggs samman fås den totala specifika energianvändningen för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater med hjälp av byggnadernas A_{temp} , förklarat i kapitel 3.2.1. I dessa värden har inte verksamhetselen urskilts då inga värden funnits tillgängliga för detta. En rimlig metod för att räkna

fram verklighetsenliga värden av verksamhetselen har heller inte ansetts möjlig. I framtagna värden är alltså både verksamhetsel och fastighetsel inräknat.

År 2016 förbrukade Stora Teatern 1583 MWh och hade en specifik energianvändning på 200,5 kWh/m². Samma år förbrukade Göteborgs Stadsteater 2897 MWh med en specifik energianvändning på 195,3 kWh/m².

Göteborgs Stadsteaters totala energianvändning är betydligt högre än Stora Teaterns vilket är logiskt då teaterns A_{temp} nästan är dubbelt så stor. Den totala specifika energianvändningen är dock lägre för Göteborgs Stadsteater jämfört med Stora Teaterns specifika energianvändning. Detta är något som har visat sig både för den specifika energianvändningen av luftburen el samt fjärrvärme och det är därför logiskt att så även är fallet för den totala specifika energianvändningen.

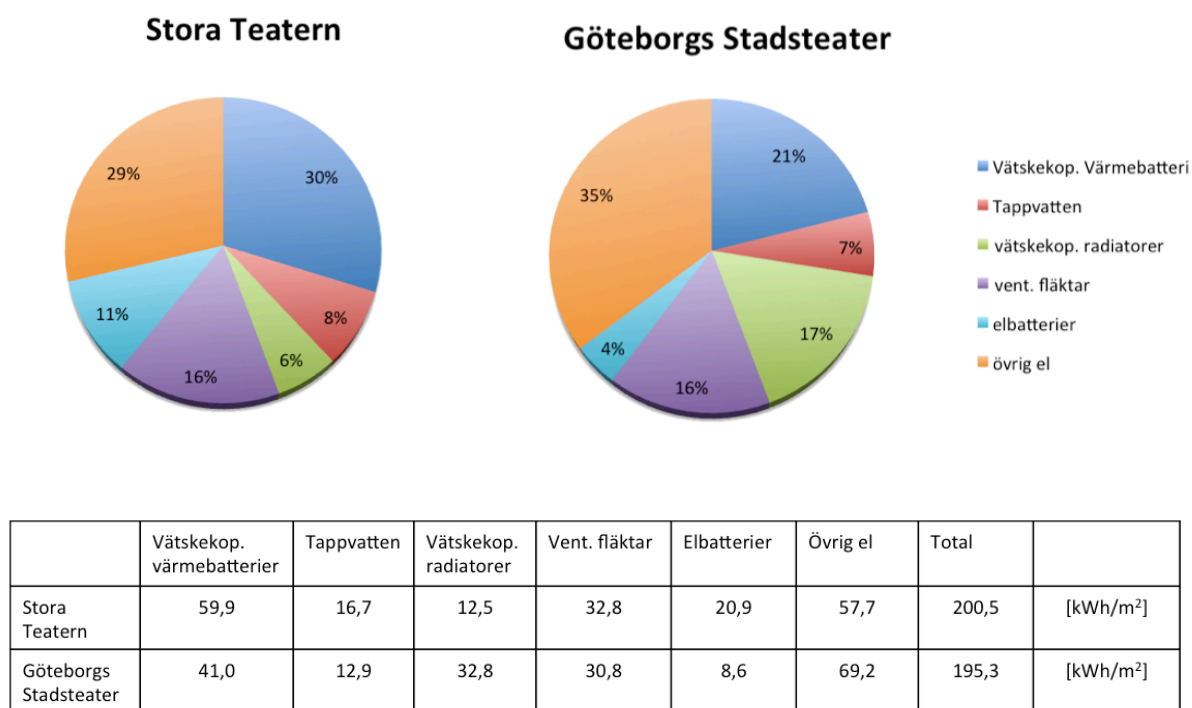
Teatrarnas totala specifika energianvändning får dock ses som mycket lika. Detta kan bero på att teatrarnas VVS-system har en liknande uppbyggnad där ventilationen förser stora lokaler med värme. Till exempel är båda teatrarnas huvudscener främst uppvärmda med luftvärme från aggregat som saknar värmeåtervinning. Hade något av dessa aggregat varit utrustat med värmeåtervinnare hade det med stor sannolikhet synts en tydligare skillnad i teatrarnas totala specifika energianvändning då dessa aggregat utgör en betydande del av den totala energianvändningen för respektive teater.

Trots att Göteborgs Stadsteater har en större mängd verksamheter i byggnaden än Stora Teatern är ändå teatrarnas utformning likartade där båda har bland annat restaurang, kontor och flera föreställningssalar. I dagsläget är även teatrarnas drifttider och öppettider liknande vilket också bidrar till den liknande totala specifika energianvändningen.

Anledningen till att Göteborgs Stadsteater är något mer energieffektiv än Stora Teatern kan bero på flera orsaker. Som nämns i kapitel 5.1 är Stora Teatern betydligt äldre än Göteborgs Stadsteater och kan därför antas ha ett något sämre klimatskal. Ett exempel på detta är Stora Teaterns yttertak som i dagsläget inte är isolerat vilket leder till en högre mängd värmeläckage. När en byggnad har ett sämre klimatskal krävs en större mängd tillförd värme för att upprätthålla ett tilltänkt inomhusklimat vilket kan vara fallet för Stora Teatern.

Stora Teaterns drifttider under år 2016 har genomgått en stor förändring där tiderna sänkts drastiskt. Stora Teaterns totala specifika energianvändning kommer därför med stor sannolikhet vara lägre under år 2017 vilket styrks i kapitel 3.2.1 och 3.3.2.

Både för energianvändningen av el och fjärrvärme visar sig värmeåtervinningen i teatrarnas ventilationsaggregat ha en stor betydelse då denna kan sänka värmebatteriernas förbrukning betydligt. Implementering av värmeåtervinnare kan därför ses som en av dem mest betydande åtgärderna som kommer diskuteras mer i kapitel 7.



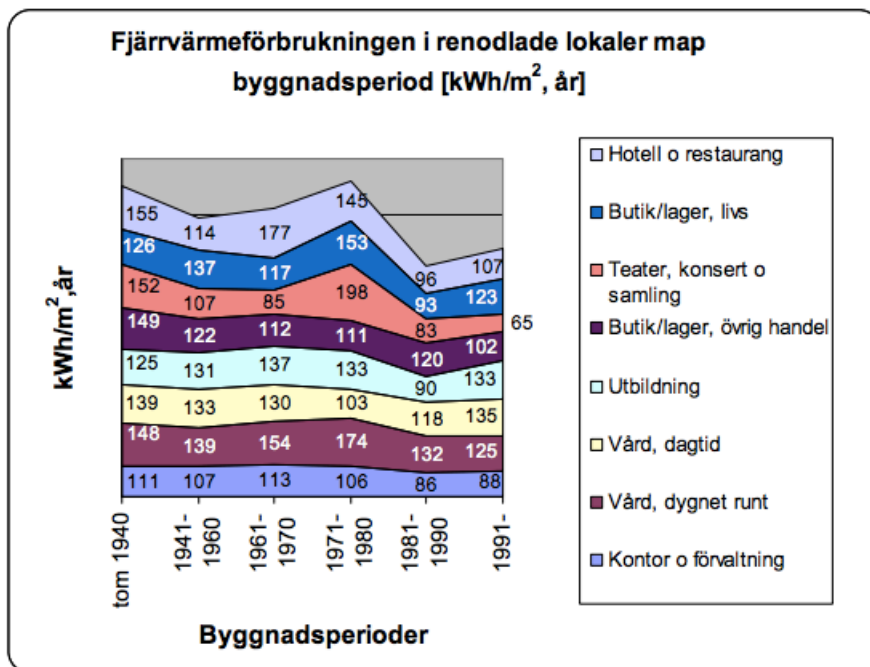
Figur 5.2 Fördelning av total specifik energiförbrukning.

Figur 5.2 visar fördelningen av teatrarnas olika energiförbrukningar. Som nämnts tidigare i kapitel 5.2 förbrukar Göteborgs Stadsteater troligtvis en något större mängd verksamhetsel då det finns bland annat verkstad och måleri i teatern. Detta styrker Figur 5.2 där ”övrig el” är högre för Göteborgs Stadsteater än Stora Teatern. I Figur 5.2 blir det även tydligt att Stora Teatern har en större specifik energiåtgång för sin luftvärme jämfört med Göteborgs Stadsteater då den specifika energianvändningen för de vätskekopplade värmebatterierna och elbatterierna är märkbart högre. Göteborgs Stadsteater har istället än högre energianvändning från uppvärmning med vätskekopplade radiatorer. I det stora hela är teatrarnas specifika energifördelning lika varandra vilket även var fallet för den totala specifika energiförbrukningen.

6 Jämförelse mellan teatrarna & referensvärden

För att kunna ta reda på hur Stora Teaterns och Göteborgs Stadsteaters specifika energianvändning skiljer sig från andra byggnader har medelvärden av energianvändningar använts för olika byggnadstyper. Dessa värden är framtagna av Boverket och beskrivs i ett samlingsdokument där referensvärden för energianvändning i befintliga småhus, flerbostadshus och lokaler kan utläsas (Boverket, 2006). Som underlag för dessa referensvärden har den specifika energianvändningen för bland annat 5 983 teatrar, konserthus, biografier och övriga samlingslokaler samt 16 243 kontor och förvaltningslokaler sammanställts (Boverket, 2006).

6.1 Fjärrvärmeanvändning



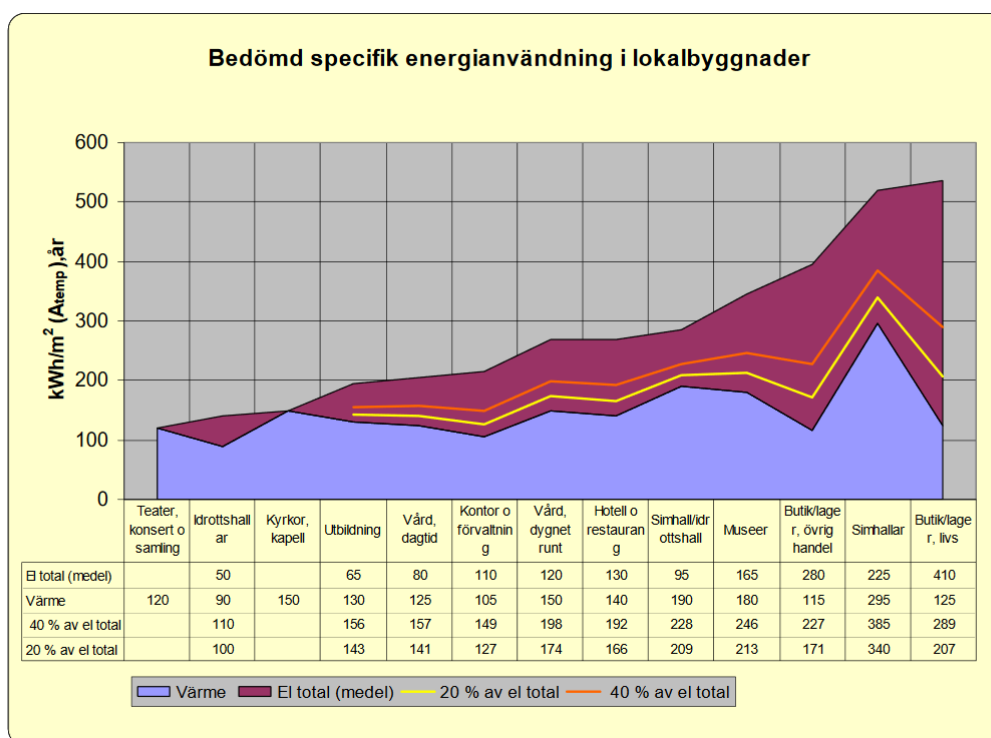
Figur 6.1 Fjärrvärmeförbrukningen i olika byggnadstyper. (Boverket, 2006). Återgiven med tillstånd.

Figur 6.1 visar medelvärden av fjärrvärmeanvändningar för olika typer av byggnader. Förbrukningarna är framtagna på samma sätt som fjärrvärmeanvändningarna för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater där värdena är normalårskorrigerade samt korrigerade för A_{temp} . Dessa begrepp är förklarade i kapitel 3.2.1 och 3.3. I tabellens x-axel visas byggnadsåren. Stora Teatern invigdes år 1859 och är alltså äldre än de årtal som visas i tabellen. Någon exakt jämförelse kan därför inte göras men skulle teatern jämföras med liknande byggnader från år 1940 och bakåt så står sig Stora Teatern bra. Med en fjärrvärmeanvändning på 89,03 kWh/m² är Stora Teaterns förbrukning mycket lägre än medelvärdet för liknande byggnader som ligger på 152 kWh/m². Detta gäller även för Göteborgs Stadsteater som färdigställdes år 1934 och har en fjärrvärmeanvändning på 86,44 kWh/m². Förklaringen till teatrarnas låga fjärrvärmeanvändningar jämfört med referensvärdet är svårt att avgöra men tänkbara faktorer är att båda teatrarna i flera delar av byggnaden har en avsaknad av radiatorer, vilket i vissa fall har lett till temperaturproblem. Teatrarna, Stora Teatern speciellt,

använder även flera elbatterier som värmer upp delar av byggnaderna som då inte förbrukar fjärrvärme. Det skall även nämnas att referensvärdet inte enbart är baserat på teatrar utan även konserthus, biografer och andra typer av samlingslokaler (Boverket, 2006).

6.2 Total specifik energianvändning

Ur samlingsdokumentet från Boverket (2006) finns även ett diagram över medelvärden för total specifik energianvändning av olika typer av byggnader. Detta diagram visas i Figur 6.2. I diagrammet har alltså total specifik fjärrvärmeanvändning samt total specifik elanvändning lagts samman på samma sätt som Stora Teaterns och Göteborgs Stadsteaters energianvändningar sammanställts i kapitel 5.4.



Figur 6.2 Den specifika energianvändningen i olika byggnadstyper. (Boverket, 2006). Återgiven med tillstånd.

Den totala specifika elförbrukningen för ett kontor ligger på 110 kWh/m² enligt Figur 6.2 och den låg på 111,5 kWh/m² respektive 108,9 kWh/m² för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater år 2016. Dessa värden är alltså mycket lika. Som kan utläsas ur Figur 6.2 finns inte referensvärden för total specifik elförbrukning för teaterbyggnader. Enligt Boverkets rapport (2006) beror detta på att ”relevanta referensvärden på elanvändningen inte kunnat tas fram med tillgängligt statistiskt underlag” (s.96). I rapporten är det även skrivet att det inte har gått att ta fram bra nyckeltal för fastighetsel då elanvändningen för fastighetens drift ofta ingår i totalelen och kan därför inte separeras utan komplettering med ytterligare elmätare (Boverket, 2006). Problemet som Boverket nämner har även varit problemet vid beräkning av fastighetsel för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater där enbart byggnadernas totala elförbrukning är givna men inte hur stor andel som är fastighetsel respektive verksamhetsel.

En total specifik energianvändning är därför inte given i Figur 6.2 för teaterbyggnader. Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater jämförs därför enbart med medelvärdet av kontorsbyggnaderna. Dessa har en total specifik energianvändning på 215 kWh/m^2 enligt Figur 6.2. Stora Teaterns totala specifika energianvändning beräknades i kapitel 5.4 fram till $200,5 \text{ kWh/m}^2$ och Göteborgs Stadsteaters totala specifika energianvändning beräknades till $195,3 \text{ kWh/m}^2$ i samma kapitel. Teatrarnas energianvändning står sig alltså bra jämfört med medelvärdet för energianvändning av kontorsbyggnader.

Boverket har i sin rapport antagit att fastighetselen som ett riktvärdesintervall utgör mellan 20-40% av den totala elanvändningen vilket visas med gul och orange linje i Figur 6.2. Detta intervall är dock inte givet för teaterbyggnaderna då relevanta referensvärden inte kunnat tas fram för dessa (Boverket, 2006). Skulle riktvärdesintervallet för fastighetsel användas för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater märks det att detta inte stämmer överens. Enbart Stora Teaterns luftburna el utgör ca 48% av den totala elanvändningen enligt beräkning i kapitel 3.4 och är alltså över riktvärdesintervallet. För Göteborgs Stadsteater utgör den luftburna elen 36% av den totala elanvändningen. Att fastighetselen skulle utgöra max 40% av den totala elanvändningen för Göteborgs Stadsteater är därför inte troligt då förbrukningen av fastighetsbelysning, elradiatorer, luftvärmare och hissar återstår vilka med stor sannolikhet utgör mer än 4% av elanvändningen.

7 Åtgärdsförslag

Som visas i kapitel 6 har Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater en mindre energianvändning än vad som kan ses som medelförbrukningarna från liknande byggnader i Sverige. Detta betyder dock inte att inga åtgärder finns för att minska på teatrarnas energianvändning. Varken Stora Teatern eller Göteborgs Stadsteater har värmeåtervinning i sina mest energikrävande ventilationsaggregat. Detta kan anses som den tydligaste förbättringsåtgärden som skulle resultera i en omfattande energiminskning.

7.1 Göteborgs Stadsteater

7.1.1 LS06 & LS07

I Göteborgs Stadsteater förbrukar aggregaten LS06 och LS07 mest energi då deras värmebatterier förser stora luftvolymmer utan hjälp av värmeåtervinning. Anledningen till avsaknaden av värmeåtervinning för nämnda aggregat är troligtvis det stora avståndet mellan scenerna som aggregaten förser och aggregatrummet. De stora avstånden mellan befintlig till- och frånluft gör att plattvärmeväxlare och roterande värmeväxlare är svåra att implementera då dessa kräver närliggande till- och frånluftskanaler. En lösning till detta är att flytta aggregatrummet, som för närvarande är placerad i källaren, till ett utrymme närmare betjänade scener. Ett exempel på sådant utrymme skulle kunna vara på taket av Göteborgs Stadsteater. Denna lösning är dock omfattande och kräver både tid och ekonomiska resurser i stor utbredning. En mer logisk lösning är därför att implementera vätskekopplade värmeåtervinnare för aggregaten LS06 och LS07. Denna typ av värmeåtervinning kräver inte närliggande till- och frånluftskanaler och skulle därför vara passande för dessa fall. En vätskekopplad värmeåtervinnare har dock en lägre verkningsgrad än andra värmeåtervinningstyper men gör ändå en betydande skillnad.

Med hjälp av varaktighetsdiagram (förklarat i kapitel 2.5) har energianvändningen beräknats för aggregat LS06 och LS07 om värmeåtervinning hade varit implementerat. Skulle aggregatet LS06 ha en värmeåtervinnare av typen roterande värmeväxlare med en verkningsgrad på 80% skulle energianvändningen minska med ca 255 MWh/år vilket är 84% av värmebatteriets förbrukning i dagsläget. Skulle istället aggregat LS06 ha en vätskekopplad värmeåtervinnare med 50% verkningsgrad hade energianvändningen minskat med ca 156 MWh/år, 52% av värmebatteriets förbrukning. Detta visas i Bilaga 2.

Hade samma åtgärd gjorts för aggregat LS07 hade energianvändningen minskat med ca 75,6 MWh/år med en roterande värmeväxlare. Detta är 97% av förbrukningen i dagsläget. Skulle en vätskekopplad värmeåtervinnare monteras minskar energianvändningen med 49,3 MWh/år vilket är 63% av förbrukningen i dagsläget. Anledningen till de väldiga minskningarna är att frånluften för aggregat LS07 har en medeltemperatur på 22 °C och tilluften är reglerad för att hålla 18 °C. Differensen är alltså relativt hög vilket leder till att den återvunna luften kan nå den tilltänkta tilluftstemperaturen utan någon större värmeförlust från värmebatteriet för majoriteten av utomhustemperaturerna. Detta kan visas med hjälp av formeln för verkningsgraden av en värmeåtervinnare som beskrivs i kapitel 2.5.

Då implementering av vätskekopplade värmeåtervinnare anses vara den mest logiska åtgärden har en uppskattad kostnadsanalys gjorts för dessa fall. Om kostnaden för

fjärrvärme uppskattas till 0,8 kr/kWh, vilket är priset som Higab räknar med vid åtgärdsförslag (Therning, 2017), har Göteborgs Stadsteater en årsutgift på ca 304 000 kr för de vätskekopplade värmebatterierna i LS06 och LS07. Om vätskekopplade värmeåtervinnare monteras med verkningsgrader på 50% blir årsutgiften istället ca 139 900 kr, en minskning med 164 100 kr/år. En grov uppskattning på investeringskostnaden för implementering av vätskekopplad värmeåtervinning i aggregaten LS06 och LS07 beräknades till 500 000 kr. Denna kostnad togs fram med hjälp från VVS leverantören Aircoil (2017) samt Wikells Byggberäkningar (2015). I detta inräknas rör, isolering, schuntgrupper, kylbatterier, värmebatterier samt diverse monteringsutgifter. Om uppskattad investeringskostnad antas kommer Göteborgs Stadsteater få tillbaka sin investering efter ungefär 3 år. En mer detaljerad kostnadsberäkning bör dock göras.

Vid platsbesök berättade Peter Löwing att en del av tilluftskanalen för LS06 går ut från byggnaden i marken för att sedan gå in i byggnaden igen. Detta har gjort att fastighetsskötarna har satt upp två temperaturgivare, en innan kanalen går ut och en efter den varit ute (Löwing, 2017). Via KTC syns det att tilluftstemperaturen är ungefär 1-2 °C kallare efter att kanalen gått ut. Detta betyder att värmebatteriet behöver värma tilluften med ungefär 1-2 °C mer för att uppnå den tilltänkta tilluftstemperaturen in till lokalen. Det bör därför ses över om det är möjligt att tilläggsisolera tilluftskanalen då detta hade minskat värmeförlusten. Utdelningen för denna åtgärd är dock svår att uppskatta då marken behöver grävas upp och det i dagsläget är oklart hur mycket isolering kanalen redan är försedd med.

7.1.2 TA8, TA9 & TA12

Efter träff med Thomas Nilsson, fastighetsförvaltare för Göteborgs Stadsteater, framkom det att aggregat TA8 och TA9 som förser entréhall och foajé inte fungerar som önskat. Aggregaten är från 70-talet och är de äldsta av aggregaten i Göteborgs Stadsteater. Med detta i åtanke bör aggregat TA8 och TA9 ses över och troligtvis bytas ut för att uppnå önskad effekt. Vid platsbesök på Göteborgs Stadsteater kunde inga radiatorer ses i foajén eller entréhallen förutom i entréslussen och det var märkbart kallt jämfört med andra lokaler i byggnaden. Om heller inte luftvärmerna från TA8 och TA9 fungerar är de kalla rumsklimaten förståeligt och det bör därför diskuteras om radiatorer skall installeras i lokalerna.

På grund utav värmeproblemen i foajén och entréhallen gjordes år 2014 en förstudie om aggregatbyte för TA8 och TA9 av konsultföretaget WSP. I denna förstudie föreslås det att befintliga aggregat byts ut och ersätts av ett nytt aggregat, utrustat med roterande värmeväxlare samt recirkulerande återluft som används som grundflöde då lokalen inte brukas (WSP, 2014). Enligt studien bör även ett vätskekopplat kyl- och värmebatteri implementeras för att kunna hålla ett behagligt inomhusklimat samt byta till frekvensstyrda fläktar som styrs via temperaturgivare (WSP, 2014).

I förstudien gjord av konsultföretaget WSP (2014) beskrivs även ett förslag om byte av aggregat TA12. Detta aggregat betjänar Studion, den näst största scenen i Göteborgs Stadsteater. Även denna lokal har problem med inomhusklimatet då det blir varmt under sommarhalvåret (De Feo, 2017). Detta dels för att lokalen vetter mot sydväst men även för att aggregat TA12 har ett konstant luftflöde och saknar kylbatteri vilket gör det svårt att sänka temperaturen i Studion. I WSP:s förstudie beskrivs samma åtgärdsförslag som för TA8 och TA9 där ett aggregatbyte görs. Ett

vätskekopplat kylbatteri samt en roterande värmeväxlare implementeras samt frekvensstyrda fläktar som styrs via temperaturgivare (WSP, 2014).

Skulle aggregatbyten göras av TA8, TA9 och TA12 till föreslagna aggregat beräknas det i förstudien ske en minskning av energianvändningen med 90% vilket skulle motsvara en minskning med ca 182,4 MWh/år om värden från kapitel 4.3.1 samt Bilaga 6 används. Den procentuella minskningen är dock teoretisk men bör ändå ses som tillräckligt verklighetstrogen för att bevisa att byten av aggregat skulle sänka energianvändningen markant. Enligt förstudien skulle Göteborgs Stadsteater göra en kostnadsbesparing på 5 miljoner kronor efter 30 år om aggregat TA8, TA9 och TA12 byts (WSP, 2014).

7.2 Stora Teatern

7.2.1 LB01

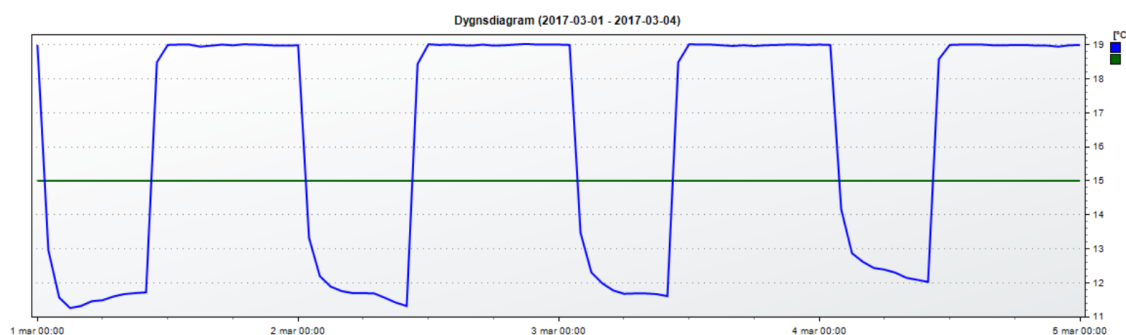
I Stora Teatern förser aggregatet LB01 Stora scenen med ventilation och det är detta aggregat som i särklass förbrukar mest energi. Detta på grund utav den stora luftvolym som aggregatets värmebatteri förser med värme utan hjälp från värmeåtervinning. Precis som för aggregaten LS06 och LS07 i Göteborgs Stadsteater är troligtvis det långa avståndet mellan till- och frånluften förklaringen till avsaknaden av värmeåtervinning i LB01, något som försvårar möjligheten att använda värmeväxlare. Då Stora Teatern är ett byggnadsminne (förklarat i kapitel 3.1.1) kan det vara komplicerat att flytta på aggregatet LB01 till en yta närmare Stora scenen eftersom detta sannolikt kräver en ombyggnad. Att implementera en vätskekopplad värmeåtervinning anses därför vara det bästa alternativet för att minska energianvändningen för värmebatteriet i aggregat LB01. Denna typ av värmeåtervinning kräver inte närliggande till- och frånluftskanaler och är därför passande.

Med hjälp av varaktighetsdiagram (förklarat i kapitel 2.5) har energianvändningen beräknats för aggregat LB01 om en vätskekopplad värmeåtervärmare hade varit implementerad. Med en teoretisk verkningsgrad på 50% beräknas energianvändningen minska med ca 120,6 MWh/år vilket är 51% av värmebatteriets energianvändning. Detta skulle ge en besparing på 96 500 kr/år om fjärrvärme-kostnaden 0,8 kr/kWh antas, vilket är priset som Higab räknar med vid åtgärdsförslag (Therning, 2017). Med hjälp från VVS leverantören Aircoil (2017) samt Wikells Byggberäkningar (2015) har en investeringskostnad grovt uppskattats till 235 000 kr där kostnader för rör, isolering, schuntgrupper, kylbatterier, värmebatterier samt diverse monteringskostnader inräknats. Om uppskattad investeringskostnad antas kommer Stora Teatern få tillbaka sin investering efter ungefär 2,5 år.

Mellan scenen och salongen i Stora scenen finns en brandskyddsriddå, när denna är nedsänkt kan ingen tilluft passera. Detta betyder att tilluften som skickas ut från aggregat LB01 bara kommer cirkulera på scenen där det varken finns några frånluftsdon eller behov för ytterligare ventiler. Det skulle därför rekommenderas att antingen implementera ett brandspjäll så tilluften kan ta sig till salongen där frånluftsdon finns, alternativt att reglera så att tilluftsflödet sjunker till ett minimum när brandskyddsriddån är nedfälld.

7.2.2 TA1(restaurang)

Aggregat TA1(restaurang) i Stora Teatern är utrustat med två elbatterier men har inte någon värmeåtervinning. Elbatterierna förbrukar enligt beräkningar i Bilaga 3 ca 86 MWh/år efter drifttidsändring, nästan 70% av den totala energianvändningen från Stora Teaterns elbatterier. Aggregatet förser bland annat restaurangköket där väldigt höga temperaturer uppstår då köksutrustning är igång under långa perioder. När aggregatet undersöktes i KTC visade det sig att tilluften inte håller sin tänkta temperatur vilket visas i Figur 7.1.



Figur 7.1 Regler- och temperaturkurvor för TA1(restaurang). (KTC, 2017). Återgiven med tillstånd.

Tilluftens verkliga temperatur ligger konstant på 19 °C när aggregatet är igång trots att den är reglerad för att hålla en temperatur på 15 °C. Detta är något som bör ses över då restaurangköket redan är varmare än önskat och onödig energi förbrukas.

Eftersom höga temperaturer bildas i restaurangköket hade det varit optimalt med en värmeåtervinnare i aggregat TA1(restaurang) då mycket värme hade kunnat återanvändas. Enligt KTC är rumstemperaturen i Stora Teaterns restaurangkök runt 25 °C de timmar då köket används och sjunker sedan till ca 22 °C, detta trots att tilluftstemperaturen ligger på 19 °C. Enligt ritningar är det inga större avstånd mellan till- och frånluften i aggregat TA1(restaurang). Det skulle därför vara möjligt att implementera en plattvärmeväxlare i aggregatet. Med en verkningsgrad på 70% skulle elbatterierna i TA1(restaurang) bara behöva vara igång vid temperaturer kallare än -5 °C och deras energianvändning hade då nästan kunnat ses som försumbara. Vill energikostnader sänkas ytterligare kan även elbatterierna bytas ut mot vätskekopplade värmebatterier som har en lägre energikostnad. Att implementera en plattvärmeväxlare och vätskekopplade värmebatterier kräver dock ett större utrymme än vad som krävs i dagsläget för aggregat TA1(restaurang) och en djupare undersökning om ytan finns bör därför göras.

7.3 Övergripande åtgärder

Utöver de mer omfattande åtgärderna som nämnts i kapitel 7.1 och 7.2 finns även ett flertal mer generella åtgärder som kan vara användbara för både Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Dessa redovisas i punktform nedan.

- Entréslussarna för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater har bidragit till värmeproblem då dessa har en låg värmeisolering. Teatrarna har installerat ridåvärmare vid entréslussarna för att behålla värmen men lokalerna upplevs fortfarande kalla. En åtgärd till detta skulle möjligtvis vara att öka luftflödet på ridåvärmarna under vissa tider då många gäster passerar. En förbättrad tätning

av entrédörrar är också en möjlig lösning. Denna åtgärd är dock problematiskt då hårda regler på teatrarnas fasader gäller.

- I både Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater styrs ventileringen manuellt via tryckknappar för respektive teaters största scen. Detta leder till att ventileringen inte alltid är optimal då personal måste ställa in passande driftlägen. Att implementera behovsstyrning genom temperatur- och koldioxidgivare som grundinställning, utöver de manuella driftlägena, hade därför varit passande och hade troligtvis sänkt energianvändningen för båda teatrarna.
- Teatrarnas fläkteffekter är i dagsläget ovissa. I Stora Teatern är de uppmätta fläkteffekterna från år 2009 och i Göteborgs Stadsteater finns inga uppmätta fläkteffekter tillgängliga. En rekommendation är därför att utföra mätningar av teatrarnas effekter för samtliga fläktar. När detta är gjort kan möjliga brister upptäckas och åtgärdas. Vid mätningar kan även fläktarnas specifika fläkteffekt (SFP) tas fram vilket är ett nyckeltal på hur pass effektiv fläkten är i förhållande till det producerade luftflödet.
- Fastighetsförvaltare för både Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater har en önskan om att månadsscheman skall införas i styr- och övervakningssystemet KTC vilket skulle effektivisera tidsregleringen för ventilationsaggregaten. Denna åtgärd rekommenderas då även energianvändningen i teatrarna hade kunnat sänkas.
- Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater har en stor mängd belysning i sina lokaler, framförallt för sina scener. Användning av energisnål belysning är därför en viktig åtgärd där LED-belysning är ett bra alternativ. Teatrarna har implementerat LED-belysning i stor utsträckning vilket är positivt och det rekommenderas att dessa förändringar fortsätter.
- För att sänka energianvändningen från belysningen är en annan åtgärd att reglera användningstiderna med hjälp av närvarostyrning. På detta sätt står inte belysning på under till exempel nattetid då ingen vistas i lokalerna och teatrarnas elförbrukning under nattetid kan sänkas. Det rekommenderas därför att denna möjlighet ses över och att en nattvandring görs i teatrarna där onödiga energianvändningar kan upptäckas.
- Att utrusta teatrarnas radiatorer med termostater är en enkel men effektiv lösning för att sänka fjärrvärmeanvändningen. Byten av termostater är något som görs kontinuerligt enligt fastighetsförvaltare för Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Detta är något som bör fortsättas med för att upprätthålla en effektiv värmeanvändning.

- För att fläktar och värmeåtervinnare ska kunna hålla sina tilltänkta effekter och verkningsgrader krävs det att aggregaten rengörs kontinuerligt (Svensk Ventilation, u.å). Vid platsbesök var det tydligt att vissa fläktar och frånluftsdon behövde rengöras. En rekommendation är därför att planering görs för rengöring som återkommer kontinuerligt.
- För att ventilationsaggregaten ska kunna hålla sina tilltänkta luftflöden och effekter är det även viktigt att kontinuerligt byta filter i aggregaten. Dessa filter monteras för att ta upp partiklar från luften och ge en renare ventilation. Filtren blir så småningom smutsiga vilket skapar tryckfall i aggregaten och leder till onödigt höga effekter. Filterbyten rekommenderas att göras ca 2 gånger per år (Svensk Ventilation, u.å).

8 Slutsats

Efter energikartläggning av Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater kan det konstateras att byggnaderna, med sina historiska bakgrunder och kulturella värden, är mycket unika. Detta har lett till att de installationstekniska aspekterna i byggnaderna inte är optimala då teaternas historiska värden i flera fall prioriterats före.

En stor del av Stora Teatern samt Göteborgs Stadsteater värms främst upp med luftvärme från ventilationsaggregat. Trots detta finns en stor avsaknad av värmeåtervinning i båda teatern. Till exempel är respektive teaters största aggregat, sett till producerad luftmängd, inte utrustat med någon form av värmeåtervinning vilket leder till en väldigt hög energianvändning. Flera aggregat är även föråldrade och klarar inte av de krav som ställs i dagsläget för att kunna tillgodose ett behagligt inomhusklimat samt en effektiv energianvändning.

Trots brister i teaternas installationer står sig Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater bra i jämförelse med de referensvärden som tagit fram av Boverket där liknande byggnaders energianvändningar tagits fram. En exakt jämförelse visade sig dock vara svår att genomföra då värden för fastighetsel och verksamhetsel inte fanns tillgängliga. Något som även var fallet för Boverkets referensvärden av teaterbyggnader.

Trots att Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater inte är optimala i sina energianvändningar finns en tydlig vilja bland fastighetsförvaltare på teatern samt fastighetstekniker från Higab om att effektivisera byggnadernas energianvändningar. Ett bevis på detta är att betydande åtgärder redan gjorts där drifttider effektiviserats och planeras förbättras ytterligare. Förstudier på aggregatbyten har även gjorts där tydliga energieffektiviseringar uppskattats.

Med detta i åtanke finns en stor potential för markanta energieffektiviseringar av Stora Teatern och Göteborgs Stadsteater. Bland åtgärdsförslagen i kapitel 7 finns flera exempel på åtgärder som skulle leda till avsevärda minskningar av energianvändningarna och driftkostnaderna för båda teatern.

Med denna rapport hoppas vi kunna bidra till ytterligare förbättringar av Stora Teaterns och Göteborgs Stadsteaters energieffektiviseringar samt ge nya förslag på hur detta kan genomföras.

9 Referenser

Elektroniska källor

- Arbetsmiljöverket. (2015). *Fördjupning om luft och ventilation*. Hämtat från <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/fordjupning-om-luft-och-ventilation/>
- Boverket. (2006). *Samlingsdokument – referensvärden: Underlagsrapporter för att ta fram referensvärden för energianvändning i befintliga småhus, flerbostadshus och lokaler*. Hämtat från <http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2006/samlingsdokument---referensvarden/>
- Boverket. (2007). Indata för energiberäkning i kontor och småhus: En sammanställning av brukarrelaterad indata för elanvändning, personvärme och tappvarmvatten. Hämtat från <http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2008/indata-for-energiiberakningar-i-kontor-och-smahus/>
- Boverket. (2014). *Atemp*. Hämtat från <http://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/Atemp/>
- Boverket. (2014). *OVK*. Hämtat från <http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/ovk/>
- Boverket. (2014). *Vad är en energideklaration*. Hämtat från <http://www.boverket.se/sv/byggande/energideklaration/vad-ar-en-energideklaration/>
- Energideklaration: Göteborgs Stadsteater. (2009). Hämtad ifrån www.ibinder.com
- Energideklaration: Stora Teatern. (2009). Hämtad ifrån www.ibinder.com
- Energimyndigheten. (2015). *Energieffektiviseringsdirektivet*. Hämtat från <http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/lag-och-ratt/energieffektiviseringsdirektivet/>
- Energimyndigheten. (2015). *Vägledning för energikartläggning i stora företag - för privat och offentlig sektor*. Hämtat från <https://energimyndigheten.sw2m.se/Home.mvc?ResourceId=3054>
- Energimyndigheten. (2015). *Så skriver du en energikartlägningsrapport: Enligt Energimyndighetens krav för stöd till energikartläggning*. Hämtat från <http://www.energimyndigheten.se/nrp/stod-for-energikartlaggning-i-sma-och-medelstora-foretag/energikartlaggningens-innehall/>
- Energirådgivningen. (2016). *Fastighetsel & belysning*. Hämtat från <https://energiradgivningen.se/foretag/fastighetsel-belysning>
- Göteborg Energi. (2017). *Om fjärrvärme*. Hämtat från http://www.goteborgenergi.se/Privat/Produkter_och_priser/Fjarrvarme/Om_fjarrvarme

- Göteborg Energi. (2016). *Fjärrvärmepreis 2016*. Hämtat från https://www.goteborgenergi.se/Foretag/Produkter_och_tjanster/Fjarrvarme/Priser_2016
- Göteborgs Stad. (2017). *Byggnadsminne*. Hämtat från http://goteborg.se/wps/portal/start/byggande--lantmateri-och-planarbete/kommunens-planarbete/verktyg-for-stadsplanering-2/kulturhistorisk-miljo/byggnadsminne!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffz9LQz1wwkpiAJKG-AAjgb6BbmhigCsJ6zD/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- Göteborgs Stadsteater. (u.å). *Historik*. Hämtat från <http://www.stadsteatern.goteborg.se/om-oss/historik/>
- Göteborgs Stadsteater. (u.å). *Salongsplaner*. Hämtat från <http://www.stadsteatern.goteborg.se/om-oss/din-teater/salongsplaner/>
- KTC. (2017). Hämtat från <https://online.ktc.se>
- OVK-besiktning: Göteborgs Stadsteater. (2014). Hämtad från www.ibinder.com
- OVK-besiktning: Stora teatern. (2014). Hämtad från www.ibinder.com
- Riksantikvarieämbetet. (1973). *Byggnadsminne Stora Teatern*. Hämtat från <http://www.bebyggelseregistret.raa.se/bbr2/show/bilaga/showDokument.raa?documentId=21000001707772&thumbnail=false>
- Schulz, L. (2003). *Normalårskorrigerad av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. Hämtat från www.ri.se
- SMHI. (2015). *Förklaringar SMHI Energi-Index*. Hämtat från <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/fastighet/energi-index-graddagar-och-kyl-index-utokad-information-1.13663>
- SMHI. (2016). *Produktblad SMHI Graddagar*. Hämtat från <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/fastighet/smhi-graddagar-normalarskorrigerad-energiuppfoljning-1.3478>
- SMHI. (2017). *Månadsmedeltemperatur för augusti*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?myn=9&par=tmpAvv>
- SMHI. (2017). *Månadsmedeltemperaturens avvikelse för september*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?myn=9&par=tmpAvv>
- SMHI. (2017). *Temperatur*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur>
- Stora Teatern. (2017). *Om Stora Teatern*. Hämtat från <http://storateatern.se/sv/om-stora-teatern/>

Svensk Fjärrvärme. (2005). *Fjärrvärme - helt enkelt!* Hämtat från
[http://www.svenskfjarrvarme.se/Rapporter--
Dokument/Rapporter_och_Dokument/Broschyrer/Broschyr/](http://www.svenskfjarrvarme.se/Rapporter--Dokument/Rapporter_och_Dokument/Broschyrer/Broschyr/)

Svensk Ventilation. (u.å). *Service och underhåll*. Hämtat från
<http://www.svenskventilation.se/ventilation/service-och-underhall/>

Litteratur

Wikells. (2015). *Sektionsfakta- ROT*.

Wikells. (2015). *Sektionsfakta- VVS*.

WSP. (2014). *Luftbehandling i Stora Foyern och Studion: Förstudie VVS*.

Muntliga referenser

Bjerstaf, A. (2017). Fastighetstekniker på Higab.

De Feo, R. (2017). Fastighetstekniker på Higab.

Emanuelsson, L. (2017). Antikvarie på Länssyrelsen, Västra Götalands län.

Löwing, P. (2017). Elingenjör på Higab.

Nilsson, T. (2017). Fastighetsförvaltare av Göteborgs Stadsteater.

Ternell, R. (2017). Fastighetsförvaltare av Stora teatern.

Therning, J. (2017). Energiexpert på ingenjörbyrå Andersson & Hultmark.

Trüschel, A. (2017). Universitetslektor på Chalmers tekniska högskola.

Figurer

Boverket. (2006). *Den specifika energianvändningen i olika byggnadstyper*. Hämtad från
[http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-
boverket/publikationer/2006/samlingsdokument---referensvarden/](http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2006/samlingsdokument---referensvarden/)

Boverket. (2006). *Fjärrvärmeförbrukningen i olika byggnadstyper*. Hämtad från
[http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-
boverket/publikationer/2006/samlingsdokument---referensvarden/](http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2006/samlingsdokument---referensvarden/)

Chalmers tekniska högskola, kursmaterial från LBT053 Installationsteknik, VT16. (2016).
Temperaturpåverkan på värmeåtervinnare. Hämtad från www.pingpong.chalmers.se

Chalmers tekniska högskola, kursmaterial från LBT053 Installationsteknik, VT16. (2016).
Varaktighetsdiagram över Göteborg, med värmeåtervinning. Hämtad från
www.pingpong.chalmers.se

Chalmers tekniska högskola, kursmaterial från LBT053 Installationsteknik, VT16. (2016).
Varaktighetsdiagram över Göteborg, utan värmeåtervinning. Hämtad från
www.pingpong.chalmers.se

Göteborg Energi. (2017). *Elförbrukningen den 15 mars år 2016 för Göteborgs Stadsteater*. Hämtad från www.goteborgenergi.se

Göteborg Energi. (2017). *Elförbrukningen den 15 mars år 2016 för Stora Teatern*. Hämtad från www.goteborgenergi.se

Göteborg Energi. (2017). *Elförbrukningen under år 2016 för Stora Teatern*. Hämtad från www.goteborgenergi.se

Göteborg Energi. (2017). *Elförbrukningen mellan åren 2010-2017 för Göteborgs Stadsteater*. Hämtad från www.goteborgenergi.se

Göteborg Energi. (2017). *Årsförbrukningen av Göteborgs Stadsteaters fjärrvärmeanvändning i kWh för åren 2015 och 2016*. Hämtad från www.ibinder.com

Göteborg Energi. (2017). *Årsförbrukningen av Stora Teaterns fjärrvärmeanvändning i kWh för åren 2015 och 2016*. Hämtad från www.ibinder.com

KTC. (2017). *Reglerkurva för LB01*. Hämtad från www.online.ktc.se

KTC. (2017). *Reglerkurva för LS06*. Hämtad från www.online.ktc.se

KTC. (2017). *Regler- och temperaturkurvor för LB01*. Hämtad från www.online.ktc.se

KTC. (2017). *Regler- och temperaturkurvor för LS06*. Hämtad från www.online.ktc.se

KTC. (2017). *Regler- och temperaturkurvor för TA1(restaurang)*. Hämtad från www.online.ktc.se

KTC. (2017). *Tvärnittssektion över Göteborgs Stadsteater där aggregatens placering visas*. Hämtad från www.online.ktc.se

OVK-besiktning Stora teatern. (2014). *Överblicksbild på Stora Teatern med dess olika aggregat*. Hämtad från www.ibinder.com

Svenska Fjärrvärme. (2005). *Övergripande bild över fjärrvärmetransporter*. Hämtad från <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Broschyrer/Fjarrvarme%20-%20helt%20enkelt.pdf>

Tabeller

Boverket. (2014). *Information om hur ofta en OVK ska göras*. Hämtad från <http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/ovk/>

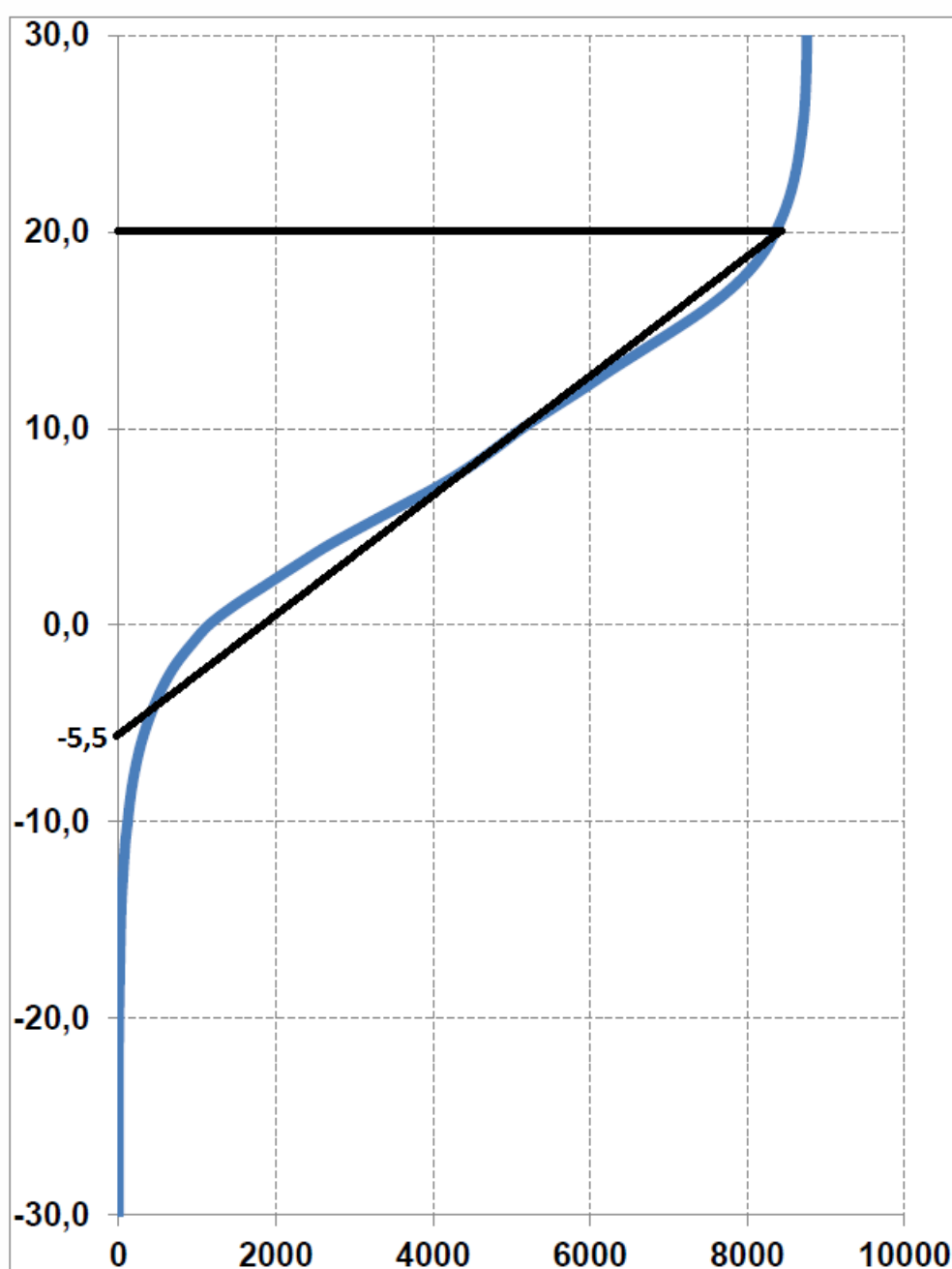
Göteborg Energi. (2017). *Fjärrvärmeanvändningen för Göteborgs Stadsteater mellan åren 2013-2016*. Hämtad från www.ibinder.com

Göteborg Energi. (2017). *Fjärrvärmeanvändningen för Stora Teatern mellan åren 2013-2016*. Hämtad från www.ibinder.com

OVK-besiktning Göteborgs Stadsteater. (2013). *Tilluftsflöde för aggregat LS06*. Hämtad från www.ibinder.com

Bilaga 1

VARAKTIGHETSDIAGRAM GÖTEBORG HELA ÅRET



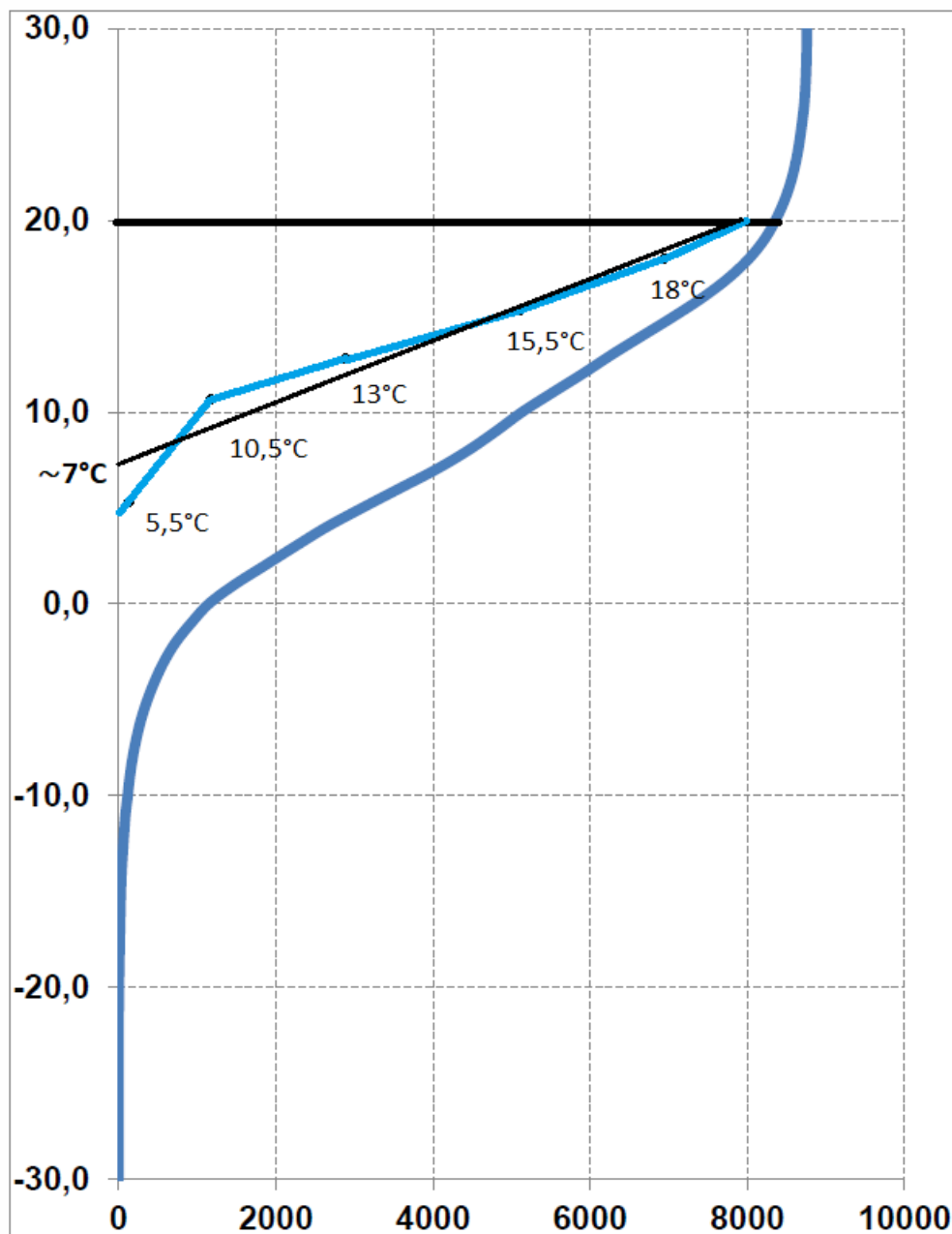
$$A = \frac{\Delta T \cdot \Delta h}{2} = \frac{25,5 \cdot 8400}{2} = 107\,100^\circ\text{Ch} \cdot \frac{105}{168} = 66\,938^\circ\text{Ch}$$

$$\dot{V} = 3,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} \cdot A = 1,2 \cdot 1000 \cdot 3,76 \cdot 66\,938 = 302,02 \text{ MWh}$$

Bilaga 2

VARAKTIGHETSDIAGRAM GÖTEBORG HELA ÅRET



$$A = \frac{\Delta T \cdot \Delta h}{2} = \frac{13 \cdot 8000}{2} = 52\,000^\circ\text{Ch} \cdot \frac{105}{168} = 32\,500^\circ\text{Ch}$$

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} \cdot A = 1,2 \cdot 1000 \cdot 3,76 \cdot 32\,500 = 146,64 \text{ MWh}$$

Sparar: $302,02 - 146,64 = 155,56 \text{ MWh/år}$.

Detta skulle ge en minskning med $\frac{155,38}{302,02} = 51,4 \%$.

Bilaga 3

Stora teatern

Veckor: 52

Elförbrukning - luftburen el (nya drifttider)

Aggregat	Betjäna	Flöde (l/s)	Drifttid (h/v)	Effekt (kW)	Energi/år (kWh)
TA	Restaurang, personal, toal	310	87	0,5	2262
Elbatteri					17940
FF8		250	87	1,4	6333,6
TA1	Restaurang m.m	920	87	0,9	4071,6
Elbatteri					56530
FF1		920	87	2,4	10857,6
Elbatteri					29200
TF1		195	168	0,1	873,6
TA1	Nattklubb m.m	840	168	1,7	3427,2
FF1A		155	168	0,15	302,4
FF1B		125	168	0,15	302,4
FF100		310	168	0,2	403,2
TA2	Lounge, kontor m.m	2920	112	3,2	18636,8
FF2		2900	112	4,7	27372,8
FF15	Toaletter	225	125	0,4	2600
LA1-TF	Kontor m.m	260	42,5	0,65	1436,5
LA1-FF		260	42,5	0,65	1436,5
Elbatteri					1930
LA20-TF	Kontor m.m	450	42,5	1,1	2431
LA20-FF		450	42,5	0,75	1657,5
Elbatteri					3330
LB02-TF	Lilla scen	800	20	1,1	1144
LB02-FF		800	20	1,1	1144
Elbatteri					12700
LB01-TF1	Stora scen	5600	91	11	52052
LB01-FF1		1400	45	1,9	4446
LB01-FF2		1400	45	1,9	4446
LB01-FF6		2500	91	2	9464
LB01-FF7		560	91	1,3	6151,6
VÅA1-TF	Konferensrum	480	42,5	1	2210
VÅA1-FF		480	42,5	1	2210
Elbatteri 1					2420
Elbatteri 2					inga värden
LB03-TF	Studio	530	168	1,5	13104
LB03-FF		530	168	1,5	13104
FF-01	WC plan 3	160	168	0,2	1747,2
FF-02	Disk, WC	60	168	0,1	873,6
Total energiförbrukning:					320551,1
varav elbatterier:					124050

Bilaga 4

Stora teatern

Veckor: 52

Elförbrukning - luftburen el (gamla drifttider)

Aggregat	Betjäna	Flöde (l/s)	Drifttid (h/v)	Effekt (kW)	Energi/år (kWh)
TA	Restaurang, personal, toal	310	168	0,5	4368
Elbatteri					34652
FF8		250	168	1,4	12230,4
TA1	Restaurang m.m	920	168	0,9	7862,4
Elbatteri					94240
FF1		920	168	2,4	20966,4
Elbatteri					29200
TF1		195	168	0,1	873,6
TA1	Nattklubb m.m	840	122	1,7	10784,8
FF1A		155	122	0,15	951,6
FF1B		125	122	0,15	951,6
FF100		310	122	0,2	1268,8
TA2	Lounge, kontor m.m	2920	119	3,2	19801,6
FF2		2900	119	4,7	29083,6
FF15	Toaletter	225	125	0,4	2600
LA1-TF	Kontor m.m	260	168	0,65	5678,4
LA1-FF		260	168	0,65	5678,4
Elbatteri					7600
LA20-TF	Kontor m.m	450	60	1,1	3432
LA20-FF		450	60	0,75	2340
Elbatteri					4700
LB02-TF	Lilla scen	800	91	1,1	5205,2
LB02-FF		800	91	1,1	5205,2
Elbatteri					12700
LB01-TF1	Stora scen	5600	125	11	71500
LB01-FF1		1400	125	1,9	12350
LB01-FF2		1400	125	1,9	12350
LB01-FF6		2500	125	2	13000
LB01-FF7		560	125	1,3	8450
VÅA1-TF	Konferensrum	480	50	1	2600
VÅA1-FF		480	50	1	2600
Elbatteri 1					3000
Elbatteri 2					inga värden
LB03-TF	Studio	530	168	1,5	13104
LB03-FF		530	168	1,5	13104
FF-01	WC plan 3	160	168	0,2	1747,2
FF-02	Disk, WC	60	168	0,1	873,6
Total energiförbrukning:					477052,8
varav elbatterier:					186092

Bilaga 5 (sida 1/2)

Göteborgs Stadsteater

Veckor: 52

Elförbrukning - luftburen el

Aggregat	Betjäna	Flöde (l/s)	Drifttid (h/v)	Effekt (KW)	Energi/år (kWh)
LS01 - TF	Kontor, syateljé, WC	1386	74	3	11544
LS01 - FF		1207	74	3	11544
LS02 - TF	Replokaler i nya delen	690	35	2,2	4004
LS02 - FF		809	35	2,2	4004
LS03 - TF	Smedja, smink, kontor mm	636	104	3	16224
LS03 - FF		854	104	3	16224
LS04 - TF	Kök, matsal, kontor mm.	903	110	3	17160
LS04 - FF		501	110	3	17160
LS04 - FF202		917	126	0,75	4914
LS05	Snickeri och verkstad			ej OVK-pliktig (inga värden)	
LS06 - TF201	Stora salongen (olika driftlägen)	2778-8333	105	15	81900
LS06 - FF201		1944-3611	105	11	60060
LS06 - FF101		1204	ej givet	ej givet	
LS07 - TF201	Tredje scen	ej givet	98	1,9	9682,4
LS07 - FF201		ej givet	98	3	15288
LS08 - FF101	Soprum	71	168	0,076	663,936
LA1 - TF	Omlädningsrum	665	168	1,5	13104
Elbatteri					34150
LA1 - FF		610	168	1,5	13104
LA2 - TF	Kontor	161	71	ej givet	
LA2 - FF		126	71	ej givet	
LA2B - TF	Kontor, pausrum	183	98	1,5	7644
LA2B - FF		194	98	1,5	7644
TA12	Studion	2114	98	ej givet	
FA12		1872	98	ej givet	
TA25	Rum 8-17	62	98	0,077	392,392
FF25			168	0,32	2795,52
FF	Dimmerrum	600	ej givet	ej givet	
TA	Syateljé	54	91	0,076	359,632
TA	Syateljé Herr	70	ej givet	0,076	
TA15	Tapetsör				inga värden
Elbatteri					
FF33		63	ej givet	ej givet	

Bilaga 5 (sida 2/2)

TA Växel	Reception	24-102	81	0,158	665,496
FF Växel		65	81	ej givet	
TA8	Entréhall, foajé	1118	112	ej givet	46440
Elbatteri					
TA9		890	112	ej givet	26040
Elbatteri					
FF19		353	112	0,75	4368
FF21B		528	87	0,92	4162,08
FF13	Loger	177	168	0,37	3232,32
FF14		177	168	1,5	13104
FF15		176	168	0,37	3232,32
FF16		132,5	168	1,5	13104
FF21	Kontor pl. 9	322	168	0,33	2882,88
TA14	Förråd	434	75	0,55	2145
Elbatteri					20740
Total energiförbrukning:					461523,7
varav elbatterier:					127370

Bilaga 6 (sida 1/2)

Göteborgs Stadsteater

Veckor: 52

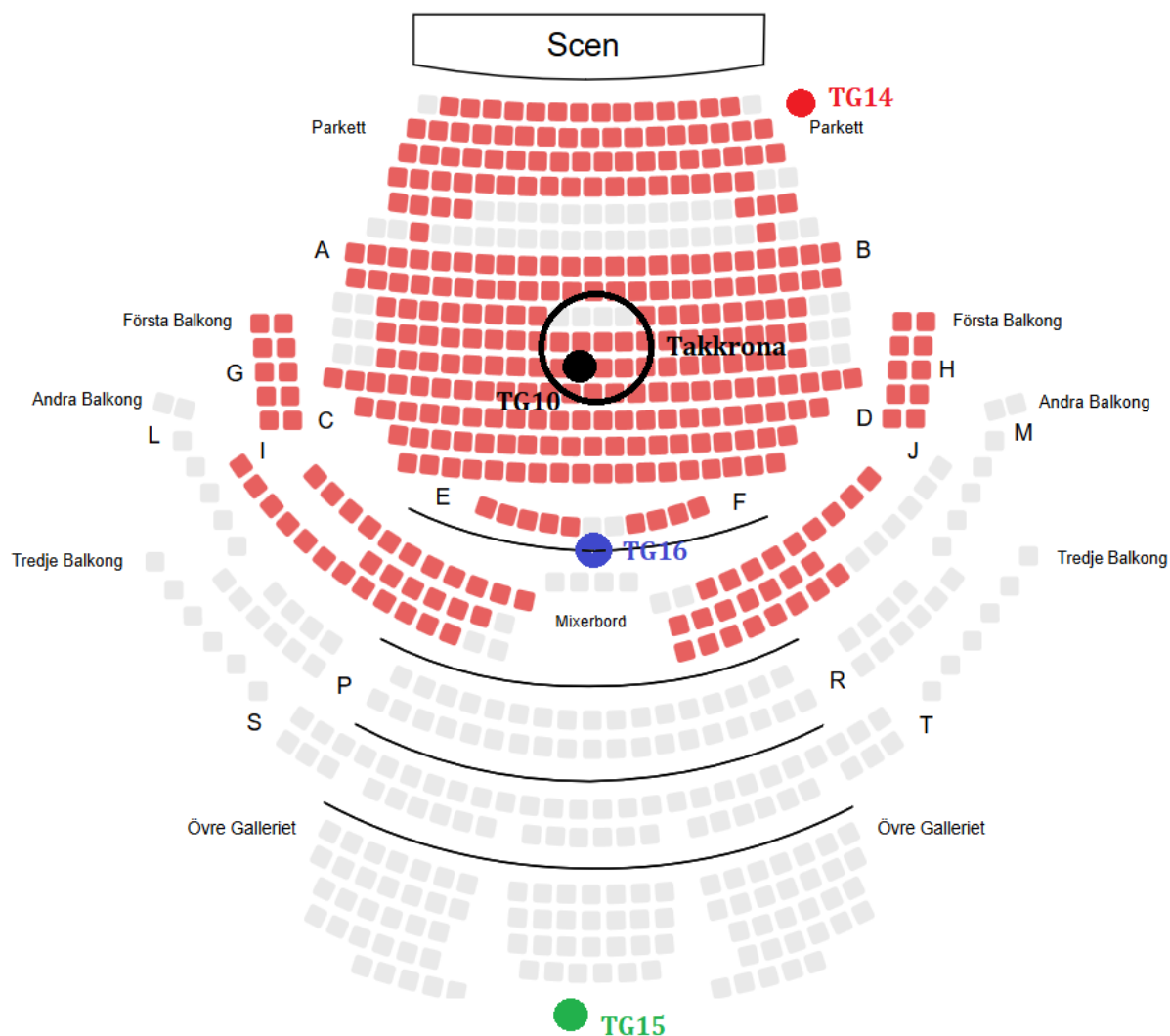
Elförbrukning - luftburen el (med uppskattade värden)

Aggregat	Betjäna	Flöde (l/s)	Drifttid (h/v)	Effekt (KW)	Energi/år (kWh)
LS01 - TF	Kontor, syateljé, WC	1386	74	3	11544
LS01 - FF		1207	74	3	11544
LS02 - TF	Replokaler i nya delen	690	35	2,2	4004
LS02 - FF		809	35	2,2	4004
LS03 - TF	Smedja, smink, kontor mrr	636	104	3	16224
LS03 - FF		854	104	3	16224
LS04 - TF	Kök, matsal, kontor mm.	903	110	3	17160
LS04 - FF		501	110	3	17160
LS04 - FF202		917	126	0,75	4914
LS05	Snickeri och verkstad	ej OVK-pliktig (inga värden)			
LS06 - TF201	Stora salongen	2778-8333	105	15	81900
LS06 - FF201		1944-3611	105	11	60060
LS06 - FF101		1204	105	3	16380
LS07 - TF201	Tredje scen		98	1,9	9682,4
LS07 - FF201			98	3	15288
LS08 - FF101	Soprum	71	168	0,076	663,936
LA1 - TF	Omklädningsrum	665	168	1,5	13104
Elbatteri					34150
LA1 - FF		610	168	1,5	13104
LA2 - TF	Kontor	161	71	1,5	5538
LA2 - FF		126	71	1,5	5538
LA2B - TF	Kontor, pausrum	183	98	1,5	7644
LA2B - FF		194	98	1,5	7644
TA12	Studion	2114	98	3	15288
FA12		1872	98	3	15288
TA25	Rum 8-17	62	98	0,077	392,392
FF25			168	0,32	2795,52
FF	Dimmerrum	600	ej givet	ej givet	
TA	Syateljé	54	91	0,076	359,632
TA	Syateljé Herr	70	91	0,076	359,632
TA15	Tapetsör				inga värden
Elbatteri					
FF33		63	ej givet	ej givet	

Bilaga 6 (sida 2/2)

TA Växel	Reception	24-102	81	0,158	665,496
FF Växel		65	81	0,158	665,496
TA8	Entréhall, foajé	1118	112	3	17472
Elbatteri					46440
TA9		890	112	3	17472
Elbatteri					26040
FF19		353	112	0,75	4368
FF21B		528	87	0,92	4162,08
FF13	Loger	177	168	0,37	3232,32
FF14		177	168	1,5	13104
FF15		176	168	0,37	3232,32
FF16		132,5	168	1,5	13104
FF21	Kontor pl. 9	322	168	0,33	2882,88
TA14	Förråd	434	75	0,55	2145
Elbatteri					20740
Total energiförbrukning:					583683,104
varav elbatterier:					127370

Bilaga 7

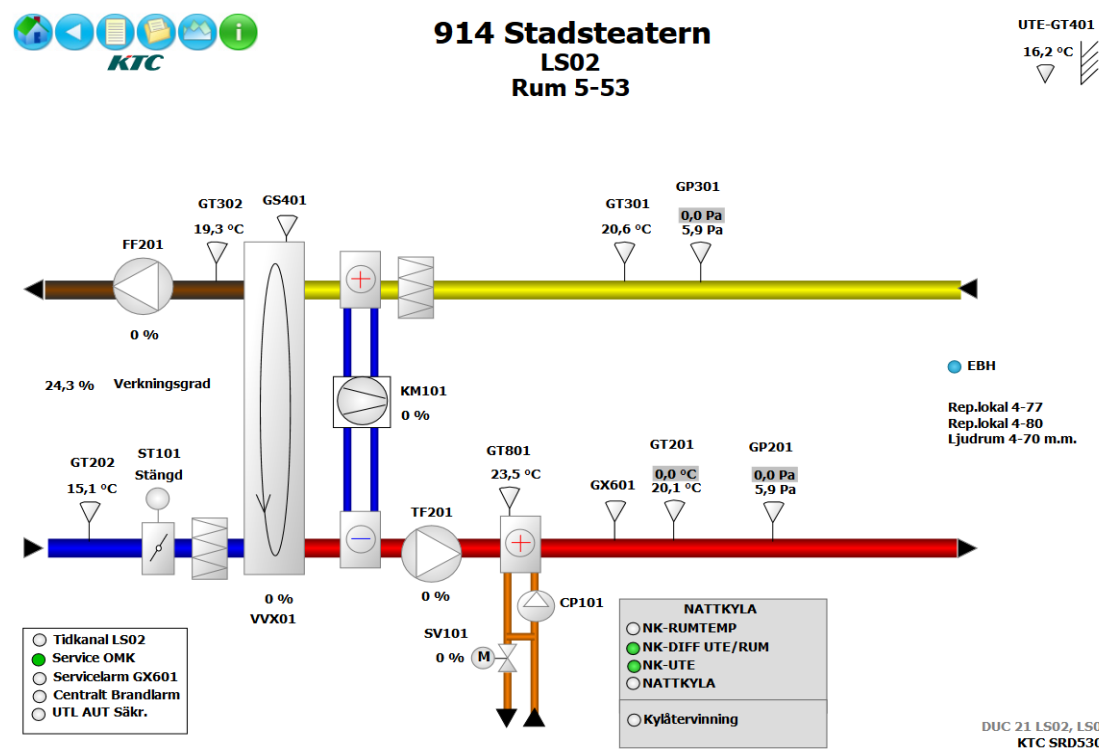
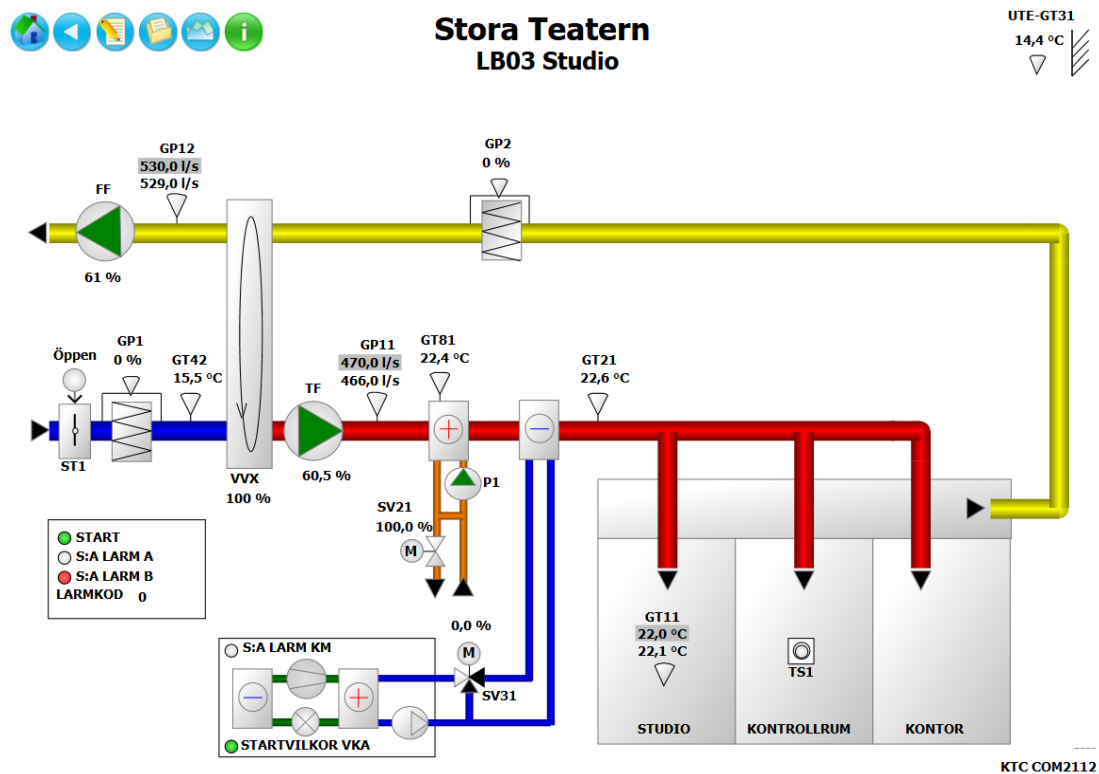


Figur hämtad från www.storateatern.se. Omarbetad med tillstånd.

Koldioxidmätare placerades på samma position som TG10 och TG14 den 19/4-2017.

Koldioxidmätare placerades på samma position som TG10 och TG16 den 22/4-2017.

Bilaga 8



Figurer hämtade från www.online.ktc.se. Återgivna med tillstånd.