

Energiåtervinning från styrd ventilation med värmeväxlare i liggtimmerbyggnad

En studie av uppmätt och simulerad energibesparing i Piteå Gamla Rådhus.

Joel Wernberg

Civilingenjör, Arkitektur
2018

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

Förord

Rapporten är ett examensarbete på 30Hp för utbildningen Civilingenjör Arkitektur med inriktning husbyggnad vid institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser på Luleå Tekniska Universitet. Rapporten utgör även en del i forskningsprojektet *Smart energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader i kallt klimat* som genomförs vid Luleå Tekniska Universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Sofia Lidelöw, Universitetslektor vid Luleå Tekniska Universitet som har varit med och väglett mig genom hela arbetet.

Jag vill även rikta ett tack till Halldo Lundgren för visning av byggnaden samt insamlande av uppgifter rådande byggnaden och ventilationssystemet. Stefan Bergstedt för utskrifter av mätloggar för systemet. Hans Wiklund för hjälp vid utförande av mätningar på ventilationssystemet.

Sist men inte minst vill jag tacka mina föräldrar Björn och Åsa Wernberg och min sambo Johanna Flinkfeldt för moraliskt stöd och uppmuntran under hela min utbildning.

Abstract

The project aims to increase the understanding of how air infiltration through the building envelope affect the rate of heat recovery from the heat exchanger in the ventilation system and demonstrate how measured data for ventilation air flows and temperatures can be used to calibrate building energy simulation model. The report is a part of the research project *smart energy efficiency of cultural-historical buildings in cold climate* at Luleå University of Technology. The building under study is the old town hall of Piteå which is a log building built during the 19th century.

A relationship between the air infiltration through the building envelope and the heat exchangers ability to recover heat was found. Through regression analyses it is shown that the outdoor temperature has a larger impact on the extract-air in the ventilation than the outdoor temperature has on the indoor temperature. When the exhaust-air temperature decreases the amount of heat that can be recovered through the heat exchanger is also reduced. The building energy simulation made after measurement data of airflow, differential pressure over fans, temperature efficiency of the heat exchanger and operation schedule in the ventilation system were inserted in the building energy model. The result of the building energy simulation had a margin of error on 3.6% compared to the measured energy use of the building.

The air infiltration through the building envelope reduces the heat recovery for the system which leads to the conclusion that the amount of energy saved from a ventilation system is less for a building with higher infiltration. With a margin of error of 3.6% the building energy simulation model can be used to test different solutions to reduce the present energy use of the building.

Sammanfattning

Arbetet syftar till att öka förståelsen för den inverkan ofrivilligt luftläckage har på ett styrt ventilationssystem med värmeväxlare, samt hur mätdata för luftflöden och temperaturer i ventilationssystemet kan användas för att kalibrera en energisimuleringsmodell. Rapporten är en del i forskningsprojektet *Smart energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader i kallt klimat* som genomförs vid Luleå Tekniska Universitet. Byggnaden som studeras är gamla rådhuset i Piteå som är en liggtimmerbyggnad med en timring som uppfördes på 1800-talet.

Ett samband mellan luftläckage och systemets förmåga att återvinna värme har uppmärksammats. Genom regressionsanalyser så påvisas det att utomhustemperaturen påverkar frånluftstemperaturen mer än utomhustemperaturen påverkar inomhustemperaturen. Då temperaturen i byggnadens frånluft sjunker, minskar den totala mängden värme som värmeväxlaren i systemet kan återvinna. Energisimuleringen som utfördes efter att uppmätta värden för luftflöde, differentialtryck över fläktarna, temperaturverkningsgrad och drifttider implementerats i modellen ligger inom en felmarginal på 3,6% jämfört med den energianvändning som är uppmätt för byggnaden.

Då byggnadens otätheter påverkar ventilationssystemets förmåga att återvinna värme går det inte att förvänta sig en lika hög energibesparing av systemet vid en otät byggnad som vid en tät. Med en felmarginal på 3,6% jämfört med uppmätt energianvändning kan modellen användas för att testa energieffektiviseringsåtgärder för byggnaden.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Abstract	ii
Sammanfattning.....	iii
1. Introduktion.....	2
1.1 Bakgrund	2
1.3 Studiens fokus	2
1.2 Syfte och mål	3
2. Litteraturgenomgång.....	4
2.1 Otätheter i klimatskärm	4
2.2 Otätheter i liggtimmerhus.....	4
2.3 Okontrollerad ventilation	5
2.4 Kontrollerad ventilation	6
Värmeväxling i FTX-system.....	7
2.5 Beräkning ventilationssystem	9
A, luftflöde och tryckökning över fläkt.....	10
B, Fläktarnas verkningsgrad och effektbehov	10
C, Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad	11
3. Metod	13
3.1 Forskningsupplägg.....	13
3.2 Litteraturstudie.....	14
3.3 Gamla Rådhuset	14
3.4 Insamling av mätdata	14
3.5 Analys av mätdata	15
3.6 Beräkning av tryckfall och effektbehov.....	16
3.7 Energisimulering.....	17
4. Resultat och Analys	18
4.1 Analyser av mätdata.....	18
4.2 Teoretiska beräkningar.....	22
4.1.1 Tryckfallsberäkning.....	22
4.1.2 Fläktverkningsgrad och energianvändning.....	25
4.3 Energisimulering.....	26
5. Diskussion och slutsatser.....	32
5.1 Kalibrerad ventilation utifrån mätdata i energisimuleringsmodell	32

5.2 Utförda mätningar på Gamla rådhuset i Piteå	32
5.3 Otätheternas inverkan på värmeåtervinningen	33
Litteraturförteckning	34
Bilaga 1 – Ventilationsritningar	36
Bilaga 2 – Loggar över verkningsgrad	40
Bilaga 3 – Loggar över utomhustemperatur	50
Bilaga 4 – Loggar över frånluftstemperaturer	58

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Att minska byggnaders energianvändning är aktuellt inom byggbranschen dels på grund av att man vill få ner driftkostnader, men även för att minska miljöpåverkan. Byggsektorn står för nästan 40% av landets energianvändning (Energimyndighet, 2012a) vilket gör att det är ett område med stor förbättringspotential. Det handlar dels om att förbättra befintliga byggnader samt att bygga bättre nya byggnader. Vad det gäller kulturhistoriska byggnader kan flera vanliga effektiviseringar vara svåra att genomföra då de riskerar att bryta mot de reglerna som är uppsatta angående hur byggnaden ska bevaras (Energimyndighet, 2012b). Det gör att kraven blir högre på att identifiera orsakerna till energianvändningen för att inte göra större inverkan än nödvändigt på byggnaderna.

Att kunna simulera energianvändningen före åtgärder är en stor fördel med dagens datorverktyg. Då kan man redan i förväg veta ifall förändringen kommer ge en nämnvärd förbättring i förhållande till storleken på ingreppet. För att kunna skapa en bra simuleringsmodell måste förutsättningarna för byggnadens nuvarande skick och funktion vara känt och uppmätt i data.

Då ventilationen i byggnader står för en stor del av energiförlusterna är det inte ovanligt att använda system för styrd ventilation så som FTX-system som är från och tilluftssystem med en värmeväxlare. Systemen återvinner temperaturen från frånluften för att värma upp tilluften. I en undersökning av Johansson (2011) så framkommer det att endast en liten del av luften behöver tillföras extra värme efter värmeväxlaren för att uppnå önskad tilluftstemperatur, även under kallare dagar. Det medför stora energibesparingar framför allt i Sveriges norra regioner där det kan vara väldigt kallt under vinterhalvåret.

Energianvändningen för byggnader med styrd till och frånluft påverkas mer än byggnader med självdrag eller delvis styrd ventilation av vindförhållande utomhus (Sandberg et al. 2007). Det beror på att byggnader med styrd till och frånluft inte har några större tryckskillnader över klimatskärmen och därför är känsligare för yttre påverkan i form av vind. Vilket medför att luftströmmarna inomhus kan påverkas och systemen återvinner bara den luft som passerar ut genom värmeväxlaren FoU-Syd (2008). Det medför i sin tur att den verkliga energibesparingen i systemet blir lägre än beräkningar och simuleringar för otäta byggnader. I FoU-Syd (2008) omnämns det att otätheterna i byggnadens klimatskärm kan påverka energiåtervinningen av ett styrt ventilations system med värmeväxlare med upp till 10 kWh/m^2 .

1.3 Studiens fokus

Arbetet avgränsas till mätningar och analyser på gamla Rådhuset i Piteå. Byggnaden ingår som studieobjekt inom forskningsprojektet *Smart energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader i kallt klimat* vid Luleå Tekniska Universitet. Inom forskningsprojektet har energianvändningen för byggnaden samt rådande inomhus och utomhustemperaturer mätts mellan 2014–2017. I ett tidigare examensarbete av Cruz (2014) undersöktes byggnaden för att kunna upprätta en energisimuleringsmodell. Modellen har sedan vidareutvecklats inom

ramen för forskningsprojektet. Under utveckling av modellen har ett behov av mer kunskap om hur ventilationen körs i verkligheten samt hur byggnadens otätheter inverkar på den veckliga energiåtervinningen i ventilationssystemet identifierats. Byggnaden är en äldre liggtimmerbyggnad som har en hög dokumenterad otäthetsgrad enligt Linden et al. (2015). Byggnaden har ett styrt ventilationssystem med värmeväxlare även kallat FTX-system. Byggnaden finns i Norra Sverige där det kan förväntas vara stora temperaturskillnader mellan inomhusklimat och utomhusklimat vilket hjälper till att visa ett tydligare samband mellan temperaturer i ventilationssystemet och inomhus respektive utomhus temperaturer. Data från tidigare mätningar kompletteras med nya mätningar av temperatur och flöden i ventilationssystemet för att analysera ventilationssystemets värmeåtervinningsgrad och undersöka samband som kan påvisa otätheternas inverkan på ventilationssystemet. I en tät byggnad med FTX-system så är frånluftstemperaturen ungefär samma temperatur som inomhustemperaturen i byggnaden vilket medför att den luft som kommer in genom läckage i klimatskärmen kommer att värmas till rådande inomhustemperatur. Ifall det via mätningar kan påvisas att frånluftstemperaturen är lägre än inomhustemperaturen, alternativt påverkas kraftigt av rådande utomhustemperatur kan det innebära att kallluft dras in genom klimatskärmen och inte hinner värmas tillräckligt innan luften passerar genom frånluftssystemet. Detta medför att mängden värme som kan återvinnas blir lägre.

1.2 Syfte och mål

Syftet är att studien ska bidra till en ökad förståelse för hur otätheter i en äldre liggtimmerbyggnad kan inverka på energiåtervinningen i ett styrt ventilationssystem. För att kunna se samband så undersöks temperaturer i ventilationssystemet och inomhustemperatur respektive utomhustemperatur för byggnaden. Även FTX-systemets ventilationsflöde och temperaturverkningsgrad mäts. Resultaten av ventilationsflödena FTX-systemets temperaturverkningsgrad används för att kalibrera ventilationsinställningar i en energisimuleringsmodell för byggnaden.

-Hur kan mätdata användas för att kalibrera luftflöden, effektbehov och energiåtervinning för styrd ventilation i en energisimuleringsmodell?

-Hur kan otätheter i en äldre liggtimmerbyggnad påverka värmeåtervinningen från styrd ventilation med värmeväxlare?

-Tidigare mätdata kompletteras med nya mätningar som utförs på Gamla Rådhuset i Piteå.

2. Litteraturgenomgång

2.1 Otätheter i klimatskärm

Byggnadens klimatskärm kan beskrivas som de delar av konstruktionen som finns där för att skydda inomhusmiljön från utomhusmiljön. Vilket inkluderar både golv, tak, väggar, dörrar och fönster samt alla material som ingår. Syftet med klimatskärmen är att de ska kunna stoppa alla de yttre påfrestningar som kan tänkas verka utanför byggnaden det gäller även att stoppa mot påfrestningar som brand och buller. (Petersson, 2009)

Hur bra klimatskärmen är beror på hur bra den kan stoppa alla yttre påfrestningar men samtidigt bibehålla ett gott inomhusklimat. Ett exempel är om byggnaden är otät så kan det leda till att byggnaden upplevs som dragig och kall. Eftersom luft dras in genom otätheterna och kyler ner inomhusluften och det kan ta ett tag innan den kalla luften värmts upp av värmesystemet. Det är det inte säkert att den kalla luften resulterar i obehag på grund av drag. Beroende på var den är placerad kan det också medföra kondensbildning vilket i sin tur kan medföra fuktskador som påverkar inomhusmiljön negativt. Otätheterna i klimatskärmen kan också påverka energiåtervinningen hos ett FTX-system. Kall luft kommer in genom otätheterna och medför att en andel av frånluften i systemet utgörs av den kalla luft som kommit in genom klimatskärmen (FoU-Syd, 2008). Detta medför också att frånluftstemperaturen är lägre och således kan mindre värme återvinnas, vilket också leder till att mängden återvunnen energi minskar. Då det inte är någon större tryckskillnad över klimatskärmen för ett FTX-system innebär det också att från och tilluftsflöden är lika stora (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ifall en andel av frånluften tas från luft som läckt in genom klimatskärmen innebär det att redan uppvärmd luft pressas ut i någon annan del av byggnaden.

2.2 Otätheter i liggtimmerhus

Liggtimmerhus är byggnader vars bärande konstruktion består av trädstammar som ligger staplade ovanpå varandra. Liggtimmerhus går att finna både i stadsmiljö och på landsbygden och kan variera väldigt i storlek. Stockarna sammanfogas i hörnen genom att halva stocken huggs bort och korsläggs med den andra stocken, se figur 1. Taket består vanligen av kraftiga takåsar som ger extra stabilitet till byggnaden. Eftersom byggnaderna består av massiva stockar blir tyngden på byggnaderna hög, vilket också hjälper till med stabiliteten. (Söderberg & Kjellberg, 2005)



Figur 1, Bild över liggtimmerknut

Byggnadsmetoden medför relativt stora otätheter då det finns många små springor där luft kan ta sig genom klimatskärmen. På grund av termiska drivkrafter så trycks den varma luften ut genom springor i taket och kall luft sugas in genom springor i de undre byggnadsdelarna, vilket ofta medför att det kan upplevas dragigt i ett liggtimmerhus. (Söderberg & Kjellberg, 2005)

Otätheter kan leda till ökad energianvändning (se kapitel 2.1). Även faktorn att äldre liggtimmerbyggnader oftast inte är isolerade annat än med det trä som bär upp konstruktionen medför högre uppvärmningskostnader. Fördelen som byggnaderna kan ha ur ett energiperspektiv är att de består av relativt tunga konstruktioner vilket leder till en högre tidskonstant. Det innebär att temperaturen inomhus inte påverkas lika mycket av en kort temperaturförändring eftersom konstruktionen har mycket lagrad energi som hjälper till att värma upp (Petersson, 2009).

2.3 Okontrollerad ventilation

Luftläckage i byggnader står också för en stor del av energianvändningen i en byggnad. Till luftläckage räknas den luft som tar sig genom byggnadens klimatskärm ofrivilligt genom till exempel springor och andra otätheter. Otätheter som uppstår mellan olika byggnadselement är okontrollerat och går inte att återvinna värme från. (Petersson, 2009)

Det ofrivilliga luftläckaget kan mätas genom att utföra en täthetsprovning av byggnaden där ventilationsdon tätas för att sedan trycksätta byggnaden med 50Pa tryck via en fläkt vanligen placerad i dörröppningen. Detta gör att en tryckskillnad uppstår över klimatskärmen och mängden luft som passerar kan mätas FoU-Väst (2007). Mätningarna är standardiserade och utfördes fram till september 2015 med Swedish standard institute (2000) då den ersattes med Swedish standard institute (2015). Man kan även använda byggnadens egna ventilationssystem för att mäta luftläckaget i en byggnad men då krävs det att fläktarna och systemet har tillräckligt stor kapacitet. Detta utförs genom att tilluftsdel av aggregatet stängs av så att endast frånluftsfläktarna driver. (Blomsterberg & Burke, 2012)

Idag strävar man oftast mot att bygga så täta byggnader som möjligt. Enligt Blomsterberg & Burke (2012) så var lufttäteten på sex byggnader med ställda krav på god lufttätet byggda mellan 2007–2012 så låg som $0,3 \text{ l/s m}^2$ i genomsnitt där den bästa byggnaden låg på $0,1 \text{ l/s m}^2$. För att ge ett perspektiv av äldre liggatimmerbyggnader så ger mätningar utförda av Linden & Lindström (2015) värden på mellan $1,6$ till $2,4 \text{ l/s m}^2$.

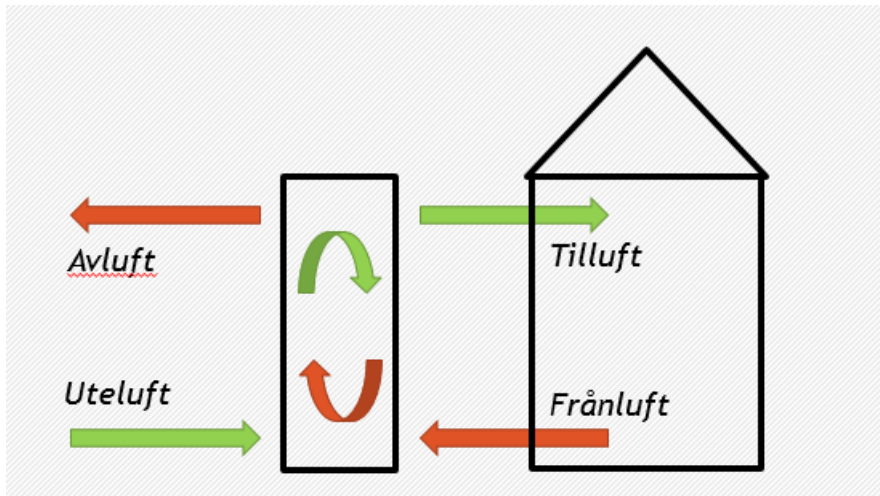
Då ett FTX-system bygger på att ha balans mellan till och frånluftsflöden för att inte skapa tryckskillnader över klimatskärmen så krävs det också att byggnaden är helt tät för att det ska fungera optimalt. Då byggnaden inte är det kan vind blåsa in och sugas ut ur byggnaden beroende på vädret utomhus vilket kan rubba balansen och således inverka negativt på funktionen av systemet FoU-Syd (2008).

2.4 Kontrollerad ventilation

Det finns flera faktorer som inverkar på byggnadens energianvändning och en av de större faktorerna är ventilationen. Ventilationen används för att ständigt byta ut luften inne i byggnaden i syfte att få ut föroreningar och skapa ett trivsamt inomhusklimat. Detta medför att den behagligt tempererade luften som finns inomhus byts ut mot luften utomhus som kan vara antingen för varm eller för kall beroende på byggnadens geografiska position. Med anledning av det behöver luftens temperatur justeras, vilket kräver en hel del energi då det sker hela tiden. Det finns tre vanliga ventilationssystem i Sverige: självdrag, frånluft samt till- och frånluft med värmeväxlare även kallat FTX-system (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Självdrag regleras med hjälp av termiska krafter då varm luft stiger och släpps ut i de övre delarna av byggnaden medan ny luft sugas in i de under delarna. Självdrag är den typ av ventilation som är vanligast i äldre byggnader och kan regleras till viss del genom vedeldade ugnar (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Frånluftssystem och FTX-system är exempel på styrda ventilationssystem. Systemen bygger på att luftflödena regleras med hjälp av fläktar för att kunna bestämma mängden luftomväxling och var luften ska passera klimatskärmen. Frånluftssystem bygger på i princip samma metoder som självdrag men frånluften regleras med hjälp av en fläkt för att säkra att luftomväxlingen i byggnaden sker hela tiden (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

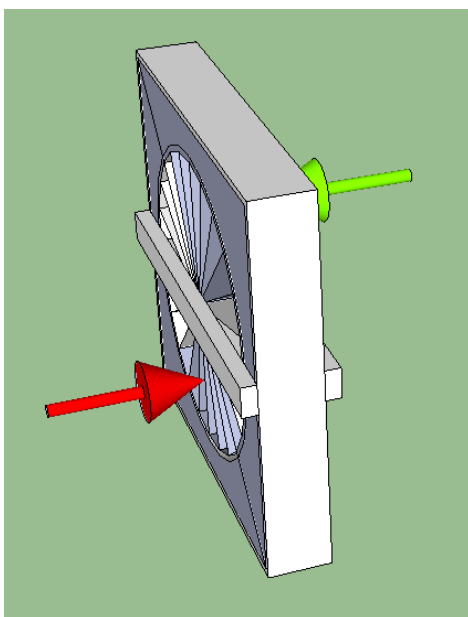
Vad det gäller FTX-system så regleras både till- och frånluftsflöden med hjälp av fläktar. I systemen finns en värmeväxlare som medför att tilluften värms upp av frånluften. Det medför att värmeenergi förflyttas från den utgående luften till den ingående och minskar mängden energi som behöver tillföras för att få luften inomhus i önskad temperatur (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Lösningen är vanlig framförallt i större byggnader där det konstant sker en stor luftomväxling, vilket medför att lösningen har en potential att spara stora mängder uppvärmningsenergi. Några begrepp som kommer att användas i rapporten presenteras i figur 2. Den luft som går utifrån in till värmeväxlaren kallas för uteluft, den luft som går från värmeväxlaren till byggnaden kallas tilluft, den luft som går från byggnaden till värmeväxlaren är frånluft, den luft som går från värmeväxlaren ut är avluft.



Figur 2, Beskrivning av förekommande begrepp.

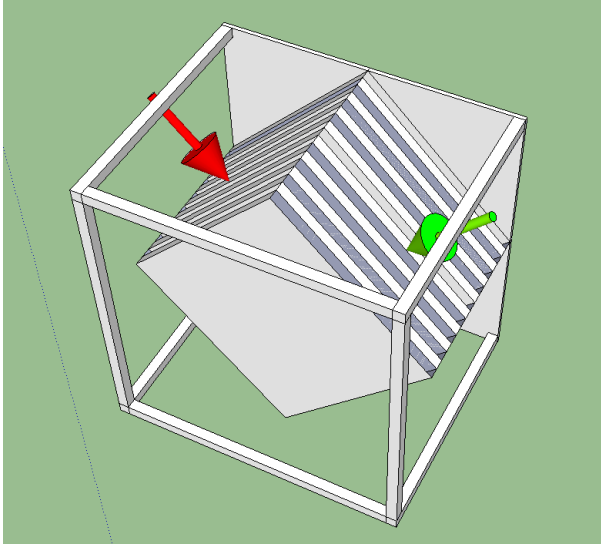
Värmeväxling i FTX-system

Det finns ett antal olika utföranden på värmeväxlare. De vanligaste typerna enligt Warfvinge & Dahlblom (2010) är *roterande värmeväxlare*, *plattvärmeväxlare* och *vätskekopplade batterier*. Efter att tilluften passerat genom värmeväxlaren passerar den ett luftvärmebatteri och eventuellt ett kylbatteri där luften regleras till önskad temperatur. Värme- och kylbatterier finns till för att hjälpa systemet vid sådana temperaturförhållande då värmeåtervinnaren inte klarar att höja/sänka temperaturen tillräckligt. I en *roterande värmeväxlare*, se figur 2 skickas både tilluften och frånluften genom ett roterande hjul som består av flera små kanaler. För att minimera risken för att föroreningar sprids till tilluften så är det viktigt att tryckförhållandet i systemet är rätt samt att det finns filter.



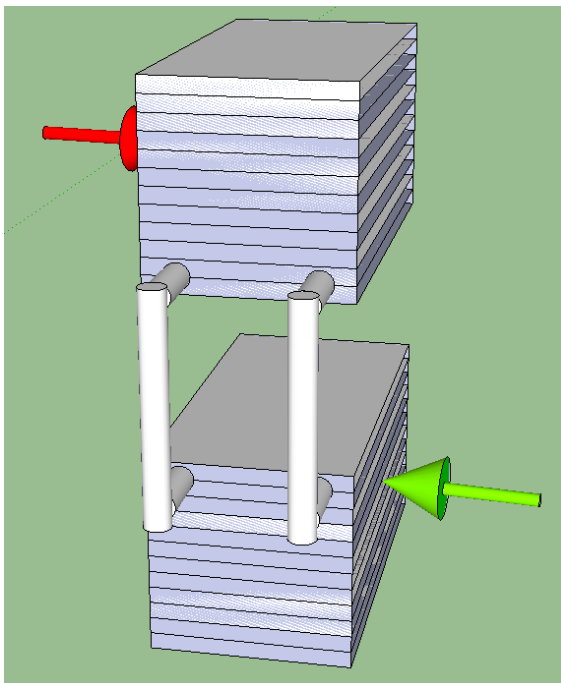
Figur 3, Roterande värmeväxlare.

I en *platt värmeväxlare*, se figur 3, skickas både till- och frånluften genom massor av små spalter som ansluter mot varandra med varannan frånluft och varannan tilluft. Eftersom till- och frånluften är avskilda från varandra blandas aldrig luften och temperaturöverföringen sker via ytorna mellan spalterna.



Figur 4, Platt värmeväxlare.

Vätskekopplade batterier, se figur 4, består av två luftbatterier som kopplas samman med en vätskekrets. Batterierna är placerade i tilluft respektive frånluftskanalerna och vattnet cirkulerar emellan med hjälp av en pump.



Figur 5, Vätskekopplade batterier.

Värmeväxlare brukar ha en angiven temperaturverkningsgrad vilket är ett förhållande på hur hög andel av frånluften som värmer tilluften. Förhållandet kan beräknas antingen som frånluftsverkningsgrad eller tilluftsverkningsgrad. Det medför att verkningsgraden inte

egentligen säger något om mängden återvunnen energi utan bara förhållandet som systemet kan återvinna. Enkelt förklarat innebär det att om både utomhustemperaturen och frånluftstemperaturen är låga så kan fortfarande en hög verkningsgrad för systemet uppnås även om den totala mängd energi som återvinns är låg.

I tidigare forskning Youness et al. (2012) undersöks hur ventilationssystem med *plattvärmväxlare* för kontor och bostäder skiljer sig åt. Undersökningen syftar till att påvisa skillnader i energiåtgången för att driva systemen och energiåtervinningen som kan förväntas av de olika byggnadstyperna i olika klimat. Deras forskning är baserad på beräkningar och simuleringar på byggnader i Frankrike. Deras undersökning pekar på att FTX-system är energibesparande i de flesta avseenden, men tappar en del av sin funktion i kontorsbyggnader eftersom systemet endast används dagtid då det i många fall befinner sig mycket människor i lokalerna samt maskiner som används. Detta gör att det under dessa tider finns många värmekällor i byggnaden som redan reducerar mängden uppvärmningsenergi som krävs. Alla värmekällor medför att den mängd energi som sparas genom ett FTX-system blir mindre. Däremot vad det gäller bostäder visade sig FTX-system vara effektivare eftersom de är igång dygnet runt och mängden värmekällor utöver uppvärmningssystemet ofta är betydligt mindre utslaget över dygnet. Youness et al. (2012) nämner även att mängden energi som kan återvinnas genom en värmväxlare beror till en stor del på utomhustemperaturerna i förhållande till inomhustemperaturerna som råder där systemet är installerat.

En kinesisk studie Kang et al. (2010) visar på hur energiåtervinningen i förhållande till fläktarnas energianvändning för ett FTX-system påverkas av rådande utomhustemperaturer. Forskningen belyste hur energibesparande det är att använda sig av värmeåtervinning i olika klimatzoner. Områdena som jämförs är Harbin, Beijing, Shanghai och Gaungzhou där det är stor skillnad på vintertemperaturer. I studien anses inte typen av värmväxlare relevant utan istället används en temperaturverkningsgrad på 60%, vilket är förhållandevis lågt. Studien visar att ju kallare utomhusklimat som råder desto mer energibesparande är systemet. Staden Harbin har en medeltemperatur på minus 18 grader under årets kallaste månader. Det medför att observationerna i studien är relevanta även för städer i Sveriges norra klimat.

2.5 Beräkning ventilationssystem

För att kunna anpassa en energisimuleringsmodell mot verkligheten så krävs det att vissa beräkningar är utförda. I detta kapitel görs en genomgång för beräkning av:

- A, luftflöde och tryckökning över fläkt.
- B, fläktarnas verkningsgrad och effektbehov samt.
- C, värmväxlarens temperaturverkningsgrad.

Värdena behövs för att kunna kalibrera inställningar avseende ventilation i en energisimuleringsmodell. Beräkningarna kan med fördel kalibreras mot faktiskt uppmätta värden ifall de ska appliceras på en befintlig byggnad.

För att beräkna totalt luftflöde som går genom ventilationssystemet så behövs antingen ritningar eller specifikationer som anger luftflödet. Beräkningar av vilken tryckökning som krävs över fläktarna för att uppnå önskat luftflöde i ett ventilationssystem görs i enlighet med Warfvinge & Dahlbloms (2010) beskrivning av dimensionering av ventilationssystem sker utifrån den kanalsträckan för frånluft respektive tilluft som ger upphov till den högsta tryckförlusten. För att göra det måste samtliga vägar som luften skickas genom kanalsystemet beräknas.

A, luftflöde och tryckökning över fläkt

För att beräkna tryckfallet i systemet kan komponenterna som ingår i den sträckan som undersöks listas i en tabell där sedan lufthastighet, kanalstorlek och kanaltyp avgör hur stort tryckfall som råder för varje ingående komponent. Tryckfallen för varje komponent anges av tillverkaren några exempel finns presenterade i Warfvinge & Dahlbloms (2010). Det är viktigt att tänka på att det även sker tryckfall i aggregatet på grund av filter och värmeväxlare även på grund av spjäll samt till- och frånluftsdon. Ifall flera svängar är placerade tätt i systemet uppstår systemeffekts förluster som är svåra att beräkna. Summan av alla tryckfall är det totala tryckfallet i systemet, vilket är samma som den tryckökning som krävs över fläkten för att uppnå önskad ventilation.

Summering av totalt tryckfall enligt (Ekvation 1) ger den tryckökning som krävs över fläkten:

$$\Delta p = \Delta p_f * \Delta p_e * \Delta p_a * \Delta p_{syst} * \Delta p_{spjäll} * \Delta p_{don} \quad (pa) \quad (\text{Ekvation 1})$$

Δp_f = Tryckfall i raka kanaldelar.

Δp_e = Tryckfall i böjar och förgreningar.

Δp_a = Tryckfall i aggregat.

Δp_{syst} = Tryckfall på grund av systemeffekter.

$\Delta p_{spjäll}$ = Tryckfall på grund av spjäll.

Δp_{don} = Tryckfall kring till och frånluftsdon.

B, Fläktarnas verkningsgrad och effektbehov

Fläktarna i systemet består av flera komponenter och för att kunna beräkna vilken verkningsgrad hela fläkten har behöver verkningsgraden för respektive komponent vara kända (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Transmissionens verkningsgrad beror på hur motorn och fläkthjulet sitter monterade. Fläkthjulet kan antingen vara direktmonterat på motorn, sker inga förluster, Däremot ifall det sker via drivremmar kommer en viss förlust att uppstå. Fläkthjulets verkningsgrad beror på vad det är för typ av fläkthjul som sitter monterat. Motorns verkningsgrad beror på märke och tillverkare, informationen kan oftast finnas under tekniska specifikationer för den avsedda fläktmotorn.

Beräkning av fläktens totala verkningsgrad görs enligt (Ekvation 2):

$$\eta_{tot} = \eta_{fläkthjul} * \eta_{transmission} * \eta_{motor} \quad (\text{Ekvation 2})$$

$\eta_{fläkthjul} = \text{Fläkthjulets verkningsgrad}$

$\eta_{transmission} = \text{Transmissionens verkningsgrad}$

$\eta_{motor} = \text{motorns verkningsgrad}$

När luftflöde och totala tryckfall samt fläktens totala verkningsgrad är kända kan fläktens effektbehov ($P_{tillförd}$) beräknas enligt (Ekvation 3):

$$P_{tillförd} = \frac{\Delta p * q}{\eta_{tot}} \quad (\text{Ekvation 3})$$

$\Delta p = \text{tryckhöjningen över fläkten}$

$q = \text{Luftflödet}$

$\eta_{total} = \text{Fläktens totala verkningsgrad}$

För att kunna beräkna antalet kWh som krävs årligen för att driva fläktarna i ventilationssystemet behövs specifikationer på vilka tider aggregatet är aktivt, samt ifall det projekterade luftflödet råder eller ifall det är andra flöden som råder under vissa tider på dygnet. Då $p_{tillförd}$ är i enheten Watt kan det multipliceras med totala antalet drifttimmar som aggregatet är verksamt under året. Om det är ett från-och tilluftssystem finns det en fläkt för respektive luftriktning, vilket innebär att beräkningarna måste utföras för både tilluftskanalerna och frånluftskanalerna.

C, Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad

Följande steg är att utreda hur mycket energi som återvinns genom värmeväxlaren. Temperaturverkningsgraden kan beräknas med hjälp av innetemperatur, utetemperatur, tilluftstemperatur, och frånluftstemperatur. I de fall som ett befintligt system utreds kan verkningsgraden oftast avläsas på displayen till apparatskåpet alternativt genom loggar. Det är viktigt att den tilluftstemperatur som används är den temperatur som råder mellan värmeväxlare och värme/kylbatteri Youness et al. (2012).

Temperaturverkningsgraden anger hur stor andel av temperaturen som överförs via värmeväxlaren och är inte ett mått på andelen överförd energi. För att kunna beräkna energiverkningsgraden, vilket är den andel energi som överförs, krävs vetskap om rådande lokalt klimat som inverkar på hur mycket energi som transporteras i luften Warfvinge & Dahlblom (2010). Beräkningen görs med fördel i något energisimuleringsprogram där hänsyn kan tas till klimat genom upprepande beräkningar vid olika tidpunkter.

Värt att notera är att verkningsgraden endast är ett mått på hur bra överföringen är i ett system. Oavsett om temperaturverkningsgrad eller energiverkningsgrad beräknas så är det ett mått under rådande omständigheter på hur bra systemet kan återvinna och inte ett mått på mängd återvunnen energi.

Beräkning av temperaturverkningsgraden sker genom (ekvation 4 eller 5):

$$\eta_{till} = \frac{T_{återvinning} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} * \frac{q_{till}}{q_{från}} = \text{tilluftens temperaturverkningsgrad} \quad (\text{Ekvation 4})$$

$$\eta_{från} = \frac{T_{från} - T_{av}}{T_{från} - T_{ute}} * \frac{q_{till}}{q_{från}} = \text{frånluftens temperaturverkningsgrad} \quad (\text{Ekvation 5})$$

T_{ute} = Utomhustemperatur

T_{av} = Temperatur på luften som skickas ut efter värmeväxlare

$T_{från}$ = Temperatur på luften som lämnar rummen i byggnaden

$T_{återvinning}$ = Temperatur på tilluften mellan värmeväxlare och värmebatteri.

q_{till} = Tilluftsflödet

$q_{från}$ = Frånluftsflödet

3. Metod

3.1 Forskningsupplägg

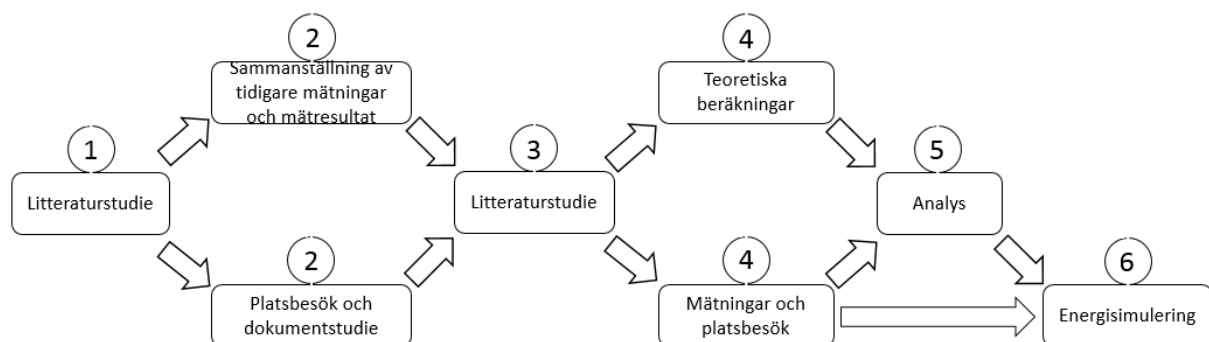
I första fasen enligt figur 6 inhämtades kunskap inledande via litteraturen gällande ventilation och vilka system som finns samt vad som skiljer dessa åt. Information inhämtades även kring hur okontrollerad ventilation påverkar byggnaden samt hur det kan påverka funktionen av den kontrollerade ventilationen.

I andra fasen enligt figur 6 utfördes insamling av information angående gamla Rådhuset i Piteå och dess installationer insamlingen utfördes genom platsbesök samt inläsning av dokument rörande ventilationssystemet och byggnaden. För att veta vilka mätningar som studien behöver kompletteras med sammanställs först tidigare utförda mätningar utifrån loggar och tidigare rapporter.

I tredje fasen enligt figur 6 utfördes en litteraturgenomgång för att ta reda på vad som kan mätas för att kunna undersöka ett samband mellan otätheter och systemets energiåtervinning.

I fjärde fasen enligt figur 6 utfördes kompletterande mätningarna där temperatur sensorer behöver installeras ifall det inte redan finns, vilket det gjorde i detta fall. De kompletterande mätningarna utfördes under två veckor i april då det rådde stor temperaturvarians. Under tiden mätdata loggas utfördes teoretiska beräkningar som används för att kontrollera rimligheten i de uppmätta värdena samt bekräfta att resultat från energisimulering verkar rimlig. För att mäta luftflödet genomfördes ytterligare ett platsbesök där fläktarna kopplades upp till en differenstryckmätare som mäter tryckökningen över fläkten, vilket sedan omvandlades till ett luftflöde genom fläkten.

I femte fasen enligt figur 6 då mätningarna var utförda sammanställdes tidigare och kompletterande mätdata och statistiska analyser utfördes. När analyserna var utförda användes mätvärdena för att i fas sex uppdatera den befintliga energisimuleringsmodellen för byggnaden.



Figur6, Schematisk bild över forskningsupplägget

3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien är utförd löpande genom hela arbetet men med störst fokus vid uppstart samt före mätningar och beräkningar enligt (figur 6). Sökmotorn som har använts är *Google Scholar*, men litteratur har även sökts via Universitetets bibliotek. En samling av sökord som har använts för att finna litteratur inom området är HRV, air-to-air, heat recovery, infiltration, building, ventilation, lufttäthet, FTX-system, värmeåtervinning, liggtimmerhus. Få tidigare studier kopplar samman byggnadens otätheter och värmeåtervinningen i ett styrt ventilationsystem har identifierats vilket försvårat litteratursökningen.

3.3 Gamla Rådhuset

Rådhuset är en liggtimmerbyggnad som uppfördes på tidigt 1800-tal. Nuförtiden används byggnaden som museum och är uppbyggt av en liggtimmerstomme ovanpå en granitsockel. Det upplevs drag i byggnaden och energianvändning låg år 2013 på $122\text{kWh}/\text{m}^2$ enligt Cruz (2014).

Det installerade ventilationsaggregatet är av modellen KARAFAX-NOVA år 2000 med roterande värmeväxlare. Sensorerna som loggar temperaturer installerades samtidigt som systemet byggdes. I samband med installationen av det nya aggregatet så tätades de äldre tilluftsventilerna.

En lufttäthetsmätning på byggnaden har utförts av Linden & Lindström (2015) enligt standard Swedish standard institute (2000). Vid mätningen uppmättes luftläckage vid 50Pa tryckskillnad till $1,617\text{ l/s} * \text{m}^2$.

3.4 Insamling av mätdata

Insamling av information rådande drifttider, ventilationsflöde och hur aggregatet styrs över året hämtades från det datorsystem som ventilationsaggregatet är uppkopplat mot. Uppgifter om flödet inhämtades från drifttekniker för byggnaden.

Nya mätdata som samlats in rör temperaturerna i ventilationssystemet, systemets verkningsgrad samt även uppmätning av det verkliga luftflödet i systemet. Uppmätning av temperaturerna i systemet och verkningsgraden genomfördes under två veckor i april. Anledningen är att april månad oftast varierar i temperatur vilket underlättar för att tydligare kunna se samband på temperaturens inverkan. De uppmätta temperaturerna användes för att undersöka ifall det finns ett temperaturrelaterat samband mellan otätheterna i byggnaden och FTX-systemets värmeåtervinning. Frånluftstemperaturen ska vara samma som inomhustemperaturen; ifall skillnader finns och dessa går att koppla till utomhustemperaturen är det något som påverkar systemets möjlighet att återvinna värme. Mätvärden samlas in genom att utnyttja systemets inbyggda sensorer och plocka ut loggar via datorn. Loggarna avlästes manuellt timme för timme under dygnet och data lades in i Excel.

Luftflödet uppmättes genom att ansluta en differenstrycksmätare till fläkten som mäter den tryckökning som fläkten ger upphov till. Differenstryckmätning utfördes för de olika tryckfall

som systemet körs på, lägre tryck medför lägre flöde och vice versa. Eftersom differenstrycket över både från och tilluftsfläktar är högre sommartid än vintertid så har tryckökningen över fläktarna uppmätts vid båda tryckinställningarna. Uppmätt differenstryck omvandlas till luftflöde enligt (ekvation 6). Mätning utförs för att uppskatta det verkliga luftflödet som finns i systemet. Flödena användes för att kalibrera en energisimuleringsmodell så att luftflödet i modellen är korrekt inställt.

Den ekvation som används för omvandling av differenstrycket till luftflöde är hämtad ur användarmanualen för aggregatet (KarfaxAB, 2000):

$$q = \sqrt{p} * K \quad (\text{Ekvation 6})$$

$$q = \text{luftflödet i } m^3/h$$

$$p = \text{Uppmätt differenstryck över fläkten i Pa}$$

$$K = \text{storleksfaktor i detta fall 154 enligt specifikationer}$$

Tidigare utförda mätningar av utomhus- och inomhustemperaturer för byggnaden har utförts under en 3års period och mätvärdena har analyserats för att se hur mycket temperaturen i byggnaden varierar över tid. Undersökningen görs för att se ifall temperaturen i byggnaden är lägre under vissa tider på dygnet då det skulle kunna påverka värmeåtervinningen i ventilationen ifall temperaturändringen sker under den tid aggregatet är verksamt. Det är även av intresse att veta ifall temperaturen i byggnaden skiljer sig mellan olika månader på året eftersom det kan ha inverkan på hur mycket värme som kan överföras via värmeväxlaren i systemet.

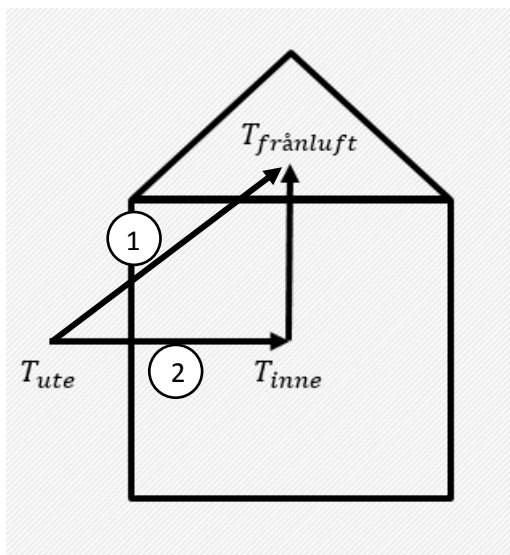
3.5 Analys av mätdata

Statistiska analyser av insamlade data utförs i statistikprogrammet "minitab 17 statistical software" där det kan utföras statistiska beräkningar samt regressionsanalyser för att finna samband mellan olika parametrar. Vad det gäller de temperaturer som råder inomhus och utomhus så görs statistiska beräkningar för att se medelvärde, standardavvikelse och konfidensintervall för varje månad. Med hjälp av det går det att se ifall temperaturen i byggnaden varierar så mycket att temperaturvariansen måste tas hänsyn till vid energisimuleringen av ventilationssystemet. Verkningsgraden på värmeväxlaren analyserades på samma sätt som temperaturerna.

Utomhustemperaturen ställs mot värmeväxlarens temperaturverkningsgrad i en regressionsanalys. Analysen utförs för att se ifall utomhustemperaturen har en inverkan på temperaturverkningsgraden av systemet. Det finns en risk att flera av de ingående parametrarna för bestämning av verkningsgraden påverkas eftersom byggnaden är otät, vilket utgör ett hinder för att se något samband. Eftersom mätdata insamlades under april månad var temperaturdifferensen mellan inomhustemperatur och utomhustemperatur inte större än 15 grader.

För att kunna se om temperaturverkningsgraden i systemet påverkas av utomhustemperaturen så är det fördelaktigt med loggar som sträcker sig även över sommar och vinter.

Ett samband söks mellan otätheter i byggnaden och värmeåtervinningen i värmeväxlaren där vinden antas vara den huvudsakliga faktorn som påverkar ventilationssystemet i en otät byggnad. Själva vindhastigheten och vindförhållandena säger inget angående temperaturerna i systemet. Däremot kommer utomhustemperaturen påverka frånluftstemperaturen i systemet ifall luftströmmarna i byggnaden rubbas. På grund av det ställs utomhustemperaturen mot frånluftstemperaturen enligt pil 1 i figur 7 i en regressionsanalys. Utomhustemperaturen kan påverka frånluftstemperaturen eftersom den även påverkar inomhustemperaturen. Därför ställs även utomhustemperaturen mot inomhustemperaturen enligt pil 2 i figur 7 i en regressionsanalys. Analysen utförs för att se ifall det är någon skillnad i hur mycket utomhustemperaturen påverkar inomhustemperaturen jämfört med hur utomhustemperaturen påverkar frånluftstemperaturen. Ifall utomhustemperaturen påverkar frånluftstemperaturen i en högre utsträckning än inomhustemperaturen kan det innebära det att kall luft läcker in genom klimatskärmen i de rum som har frånluft.



Figur 7, Schematisk bild över temperaturanalys.

3.6 Beräkning av tryckfall och effektbehov

För att säkerställa att energisimuleringen och mätvärdena stämmer överens med teorin beräknas teoretiska värden på tryckfall och effektbehov enligt (kapitel 2.5). För att beräkna tryckfallet i systemet antas luftflödena för respektive rum till det som angivits vid projekteringen se ritning i bilaga 1 för numeriska värden. Värdena från ritningen används eftersom byggnaden är projekterad med avsikt att uppfylla vissa krav på ventilationen.

Beräkningar av tryckfallet utförs genom att de olika ingående komponenterna i systemet sammanställs och mäts från ritning, se bilaga 1. Summerat blir det totala luftflödet ungefär $3850 \text{ m}^3/\text{h}$. För de komponenter som ingår i kanalsträckningarna enligt ritningen kan

tryckfall avläsas med hjälp av diagram hämtade från Swegon. Vissa komponenters tryckfall i aggregatet såsom filter don, värmebatteri, värmeväxlare och systemeffekter finns specificerat i manualen för aggregatet resterande värden är tagna som schablonvärden ur Warfvinge & Dahlblom (2010) för bra projekterade system. Detta resulterar i att de beräknade värdena för tryckfallet skiljer sig lite från de värden som mäts med hjälp av differenströckmätning över fläktarna.

Beräkning av fläktarnas effektbehov utförs sedan och multipliceras med den tid då fläktarna är aktiva (se tabell 1) för att få fram hur mycket energi de använder månadsvis. Detta jämfördes med de värden som simuleringsmodellen beräknar fram månadsvis för att säkerställa att modellen beräknar en energianvändning som stämmer mot teorin.

Tabell 1, Driftstider för ventilationssystemet

DUC 001500 Tidk. T01		Tid i DUC: 17-01-27 06:50:00		
	Start 1	Stopp 1	Start 2	Stopp 2
Måndag	06:30	18:00	00:00	00:00
Tisdag	07:00	18:00	00:00	00:00
Onsdag	07:00	18:00	00:00	00:00
Torsdag	07:00	18:00	00:00	00:00
Freitag	07:00	17:30	00:00	00:00
Lördag	09:00	15:00	00:00	00:00
Söndag	00:00	00:00	00:00	00:00
Afton	00:00	00:01	00:00	00:00
Helgdag	00:00	00:01	00:00	00:00
Specialdag	00:00	00:01	00:00	00:00

3.7 Energisimulering

Energisimuleringen utförs för att se hur stor påverkan själva FTX-systemet har på byggnadens totala energianvändning. Fördelen med att göra en simulering är att det går att göra förändringar i simuleringen och på så vis kunna se hur stor skillnad förändringarna kan tänkas bidra med. I det tidigare examensarbetet av Cruz (2014) så skapades en modell i energisimuleringsprogrammet IDA-ICE av rådhuset i Piteå. Modellen används för att utföra simuleringen på ventilationssystemet. Denna modell vidareutvecklas och används i detta arbete för att skapa en energisimuleringsmodell för att undersöka ventilationens inverkan på energianvändningen för en äldre liggtimmerbyggnad.

Värdena som mättes upp gällande temperaturverkningsgrad, luftflöde, tryckökning över fläktarna och fläktarnas verkningsgrad används för att kalibrera ventilationen i energisimuleringsmodellen. Kalibreringen görs genom att justera luftflöden, schema för verksamhetstiderna; utifrån uppmätta värden av verkningsgraden samt tryckhöjningarna över fläktarna. Byggnadens otätheter korrigeras utifrån lufttäthetsmätningen för byggnaden Linden & Lindström (2015). Avsikten är att energisimuleringsmodellens värde på total energianvändningen ska stämma bättre överens med den uppmätta totala energiåtgången för byggnaden.

4. Resultat och Analys

4.1 Analyser av mätdata

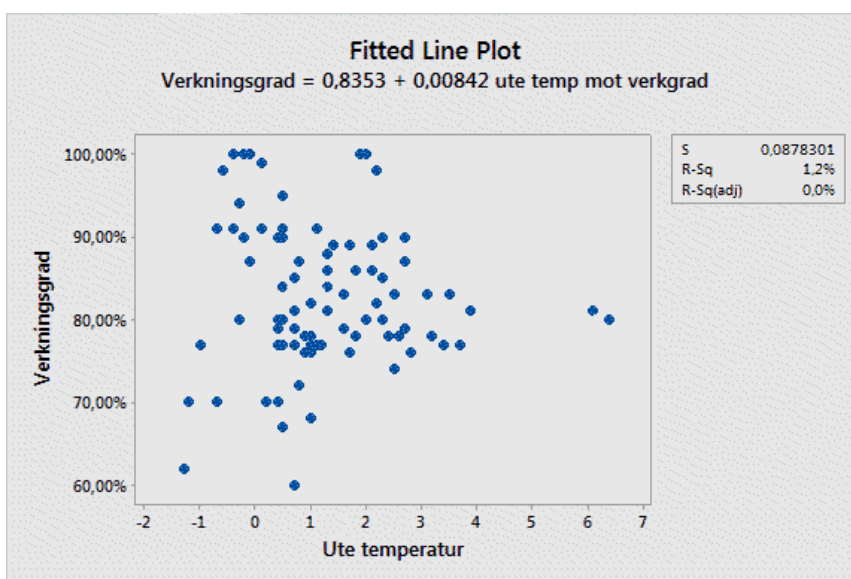
Då luftflödet i ventilationssystemet är där för att förse byggnaden med tillräcklig ventilation varierar inte tryckökningen över fläktarna ifall inte flödet ställs ner manuellt. Då det upplevs drag under vinterhalvåret så sänks luftflödet i ventilationen under denna tidsperiod genom att sänka differenstrycket över fläktarna.

Differenstrycket på frånluften mellan maj och september enligt tabell 2 är betydligt högre än under vintern och stämmer överens med vad flödet enligt projektering ska vara då ventilationen forceras. Det innebär att något spjäll för forcering av ventilationen har stannat i öppet läge under mätning och därför inte stämmer överens med det flöde byggnaden normalt har vid drift. På grund av att tilluftsflödet ligger i närheten av den projekterade nivån och frånluftens värde stämmer överens med projekterad nivå för forcering av ventilation så antas även ett frånluftsflöde med den projekterade luftflödet enligt kapitel 3.6 vid simulering.

Tabell 2, Uppmätta värden på till- och frånluftfläktarnas differenstryck.

	Oktober till och med april		Maj till och med september	
Tilluft	130Pa	1755 m ³ /h	527Pa	3535 m ³ /h
Frånluft	118Pa	1672 m ³ /h	885Pa	4581 m ³ /h

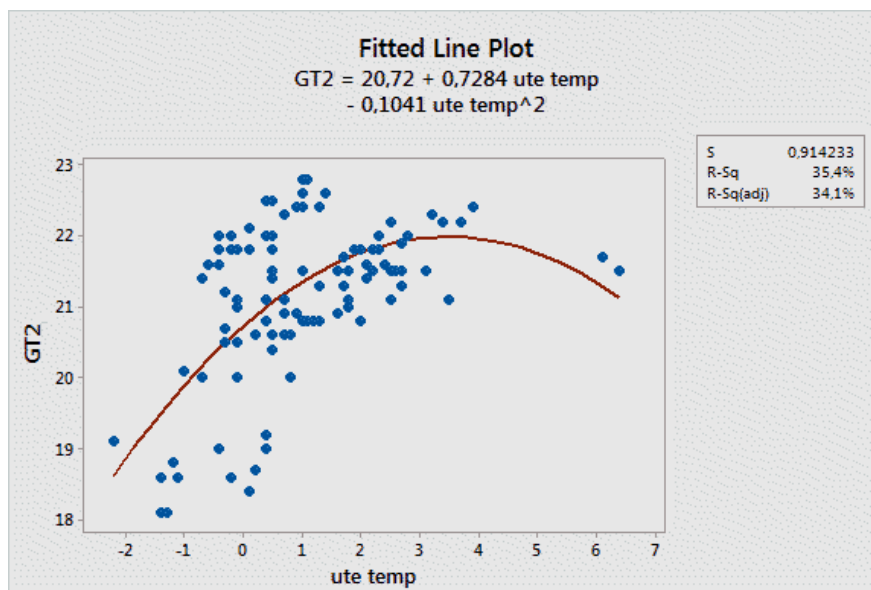
Utifrån regressionsmodellen i graf 1 kan inget direkt samband utläsas mellan utomhustemperaturen och verkningsgraden för aggregatet. Det kan bero på att både frånluftstemperatur och utomhustemperatur påverkar verkningsgraden och påverkar verkningsgraden på olika sätt och därför syns inget tydligt samband. Mätningen skulle med fördel kunna utföras över en längre tidsperiod på ett helt år för att se ifall resultatet varierar. Mätdata för temperaturverkningsgraden finns i bilaga 2 och värden för utomhustemperatur i bilaga 3.



Graf 1, Utomhustemperatur mot verkningsgrad

Utomhustemperaturens inverkan på frånluftstemperaturen kontrolleras genom regressionsmodellen i graf 2 eftersom en lägre frånluftstemperatur resulterar i en lägre energiåtervinning.

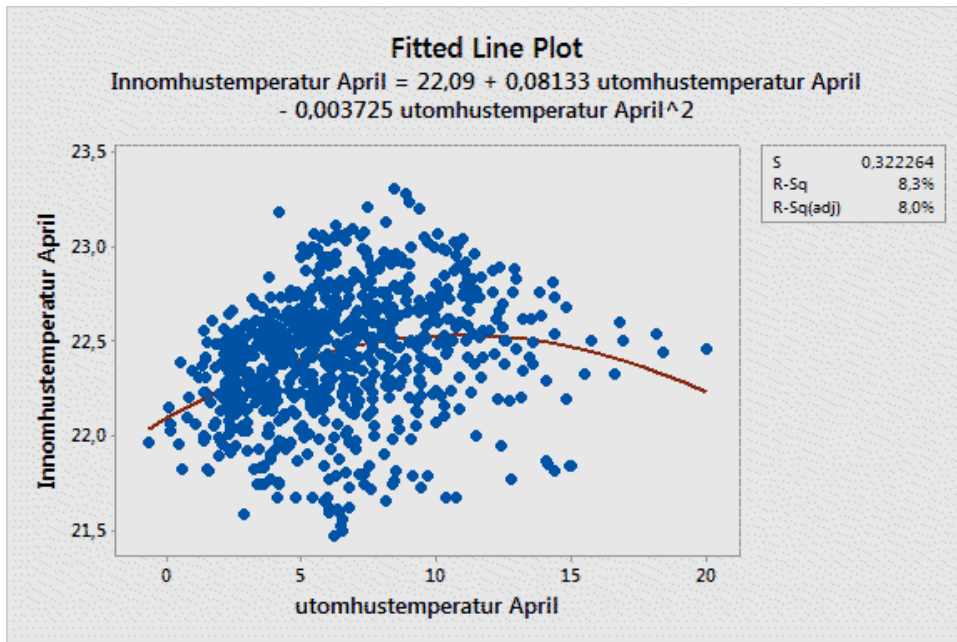
I graf 2 syns en tydlig koppling mellan utomhustemperaturen och frånluftstemperaturen i aggregatet eftersom det är förväntat att byggnadens inomhustemperaturer till en viss del beror på rådande utomhustemperatur. En lägre frånluftstemperatur i systemet innebär att mindre mängd värme kan överföras vid värmeväxling. Anledningen till valet av en kvadratisk regressionsmodell är att utomhustemperaturen har en mindre effekt på frånluftstemperaturen ju mindre temperaturdifferens som råder mellan frånluftstemperatur och utomhustemperatur. Mätvärden för frånluftstemperaturen finns i bilaga 4.



Graf 2, Utomhustemperaturens inverkan på frånluftstemperaturen

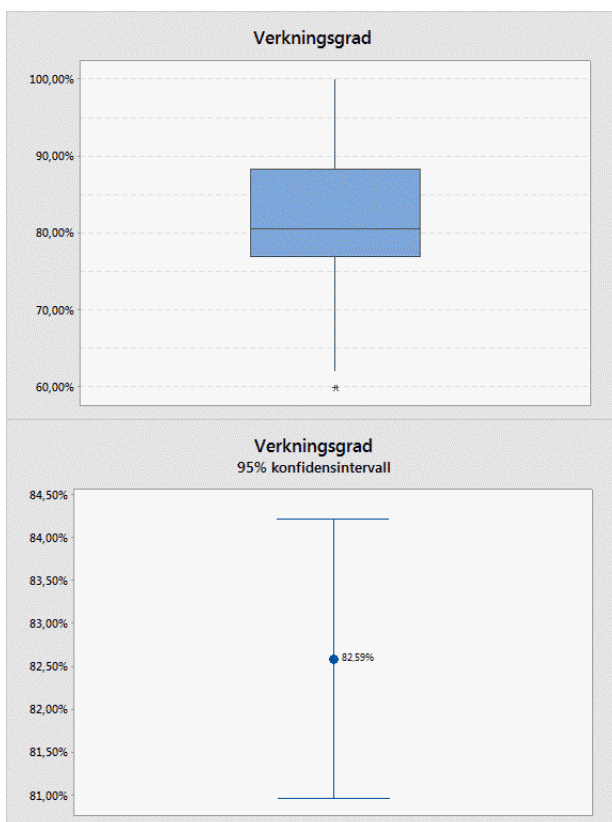
För att kontrollera ifall utomhustemperaturen har lika stor inverkan på inomhustemperaturen som den har på frånluftstemperaturen så analyseras utomhustemperaturen mot inomhustemperaturen enligt graf 3.

I graf 3 ses att utomhustemperaturen har en viss inverkan på inomhustemperaturen i byggnaden. Utomhustemperaturens inverkan på frånluftstemperaturen är större än dess inverkan på inomhustemperaturen. Observation skulle kunna bekräfta FoU-Syd (2008) påstående om att ventilationsflödena blir negativt påverkade av otätheterna i en byggnad och därför påverkas frånluftstemperaturen mer än resterande inomhustemperatur.



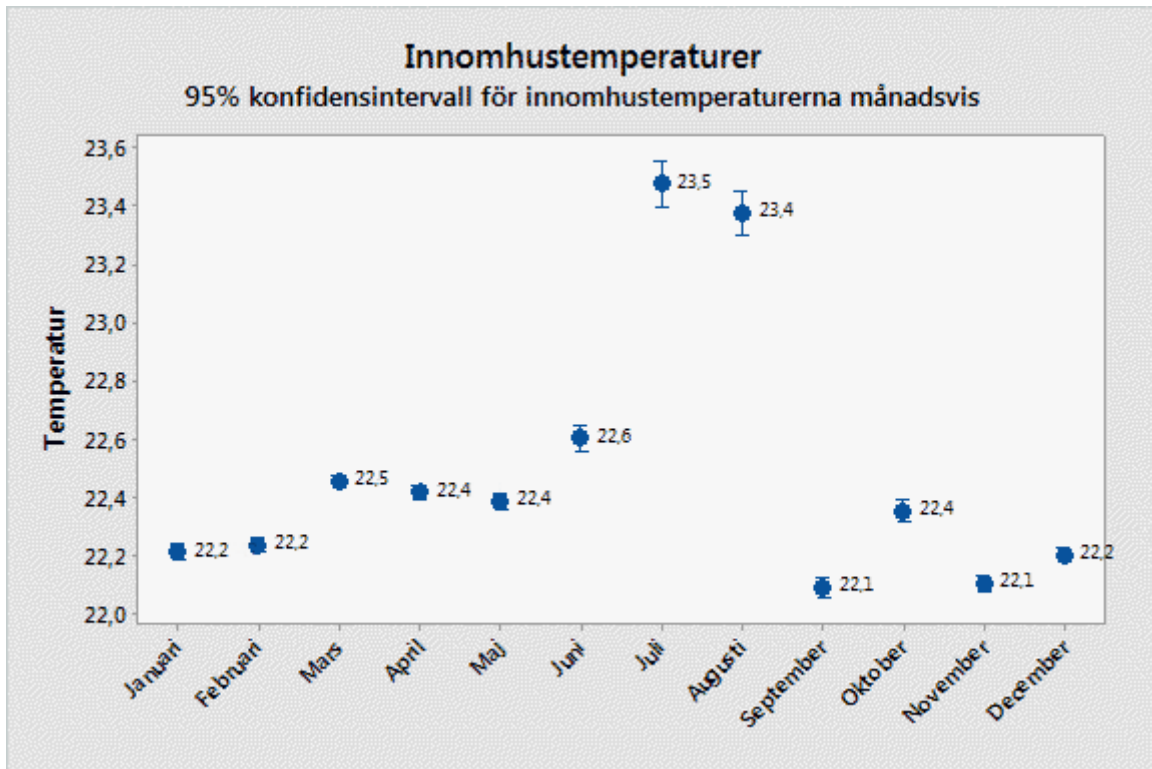
Graf 3, Utomhustemperaturens inverkan på inomhustemperaturen

Verkningsgraden för systemet varierar en del under observationsperioden med ett medelvärde på 83% enligt figur 8. För att vara säkra på att detta värde inte överskattas så antas medelvärdet minus standardavvikelsen vilket är ungefär 76% i energisimuleringsmodellen.

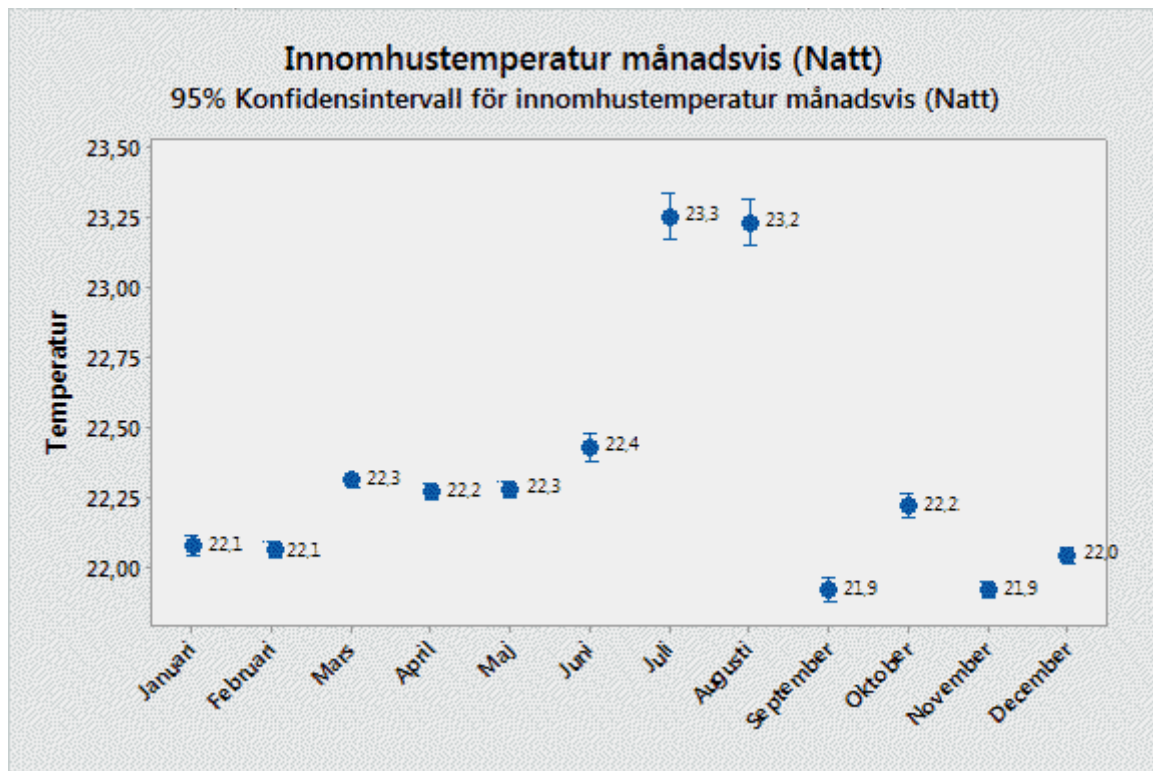


Figur 8, Verkningsgraden för värmeväxlaren under mätperioden i april.

För att kontrollera temperaturvariationen i byggnaden över året har den loggats under flera år. Vid analys av mätdata har uppdelning gjorts för den tid på dygnet som det är verksamhet i byggnaden enligt kapitel 3.6 tabell 1 och den tid då byggnaden inte används vilket visas i figur 9 och 10.



Figur 9, Temperaturvariation under verksamhetstimmar



Figur 10, Temperaturvariation utanför verksamhetstimmarna

Utifrån figur 9 och 10 observeras det att temperaturen i byggnaden ej varierar något nämnvärt över dygnet eller över året utan hålls relativt konstant.

4.2 Teoretiska beräkningar

4.1.1 Tryckfallsberäkning

Totala tryckfallet i till- respektive frånluftssystemet, tilluften $536Pa$ och frånluften $443Pa$ vilket kan utläsas i tabell 3 och 4. Tryckfallen är beräknade med utgångspunkt från det projekterade luftflödet på $3850 m^3/h$.

Tabell 3, Beräknat tryckfall över tilluftssystemet.

Komponent	Dimension (mm)	Längd (m)	Hastighet (m3/s)	Tryckfall (Pa)
Rak	600x600	1	3,51	0,3
Sväng 90gradergrader	600-600		3,51	1,1
Rak	600x600	1,4	3,51	0,42
Rak	600x600	1,8	3,51	0,54
Rak	600x600	0,8	3,51	0,24
Sväng 90gradergrader	600-600		3,51	1,1
Rak	600x600	2,5	3,51	0,75
Rak	500	0,4	5,51	0,2
Sväng 90gradergrader	500		5,51	1,3
Rak	500	2,5	5,51	1,25
Sväng 90gradergrader	500		5,51	1,3
Rak	500	1	5,51	0,5
T-kors	400		5,08	0,7
Rak	400	1,5	5,08	0,9
Sväng 90gradergrader	400		5,08	1,3
T-kors	400		3,14	16
Rak	400	1,1	3,14	0,33
Sväng 90gradergrader	400		3,14	1,1
Rak	400	0,7	3,14	0,21
T-kors	400		2,79	0,3
Rak	400	1,7	2,79	0,34
Sväng 90gradergrader	400		2,79	1,1
Rak	400	0,4	2,79	0,08
Sväng 90gradergrader	400		2,79	1,1
Dim minsk	400->315		4,49	4
Rak	315	2,2	4,49	1,54
Sväng 30grader	315		4,49	0,9
Rak	315	0,6	4,49	0,42
Sväng30grader	315		4,49	0,9
Rak	315	1,2	4,49	0,84
T-kors	315		3,56	10
Rak	315	3	3,56	1,5
T-kors	250		3,85	9
T-kors	250		2,94	0,5
Rak	250	1,9	2,94	0,76
T-kors	250		2,38	0,4
Dim minsk	250->200		3,71	3
Rak	200	1,6	3,71	1,44
T-kors	200		1,66	0,7
Dim minsk	200->160		1,66	0
Sväng 90gradergrader	160		1,66	0,8
Rak	160	0,2	1,66	0,06
Sväng 90gradergrader	160		1,66	0,8
Rak	160	3,2	1,66	0,96
Tilluftsdon				50
Filter				50
Värmebatteri				40
Värmeväxlare				100
Systemeffekter				200
Uteluftsintag				25
Tot tryckfall				535,98

Tabell 4, Beräknat tryckfall över frånluftssystemet.

Komponent	Dimension (mm)	Längd (m)	Hastighet (m3/s)	Tryckfall (Pa)
Rak	600x600	1	3,51	0,2
T-kors	600		3,01	6
Rak	600x600	1,4	3,01	0,28
Rak	600x600	1,8	3,01	0,36
Rak	600x600	0,8	3,01	0,16
Sväng 90grader	600-600		3,01	1
Rak	600x600	2,5	3,01	0,5
Rak	500	1,3	5,52	0,78
T-kors	500		3,82	10
Rak	500	2,1	3,82	0,63
Sväng 30	500		3,82	0,7
Rak	500	0,6	3,82	0,18
Sväng 90grader	500		3,82	1,1
Rak	500	1	3,82	0,3
T-kors	400		4,86	3
Rak	400	1,5	4,86	0,9
Sväng 90grader	400		4,86	1,4
Sväng 90grader	400		4,86	1,4
Rak	400	1,7	4,86	1,02
Sväng 90grader	400		4,73	1,4
Rak	400	0,9	4,73	0,54
Sväng 90grader	400		4,73	1,4
Rak	400	2,5	4,73	1,5
sväng 30	400		4,29	1
Rak	400	0,5	4,29	0,25
sväng 30	400		4,29	1
Rak	400	1	4,29	0,5
Sväng 90grader	400		3,58	1,15
Rak	400	1,8	3,58	0,72
T-kors	400		3,58	7
Rak	315	0,3	3,49	0,12
Sväng 90grader	315		3,49	1,05
T-kors	315		3,49	1
T-kors	315		3,49	1
Sväng 90grader	315		2,92	1,05
Rak	315	3,5	2,92	1,75
T-kors	315		2,92	1
T-kors	315		2,92	1
T-kors	315		2,92	1
T-kors	315		2,92	1
Dim minsk	315->250		2,83	1
Sväng 90grader	250		2,83	1,05
Rak	250	0,5	2,83	0,2
Sväng 90grader	250		2,83	1,05
Rak	250	0,3	2,83	0,12
T-kors	250		2,83	1
T-kors	250		2,83	1
T-kors	250		2,83	1
Sväng 90grader	250		2,26	0,8
Frånluftsdon				50
Filter				50
Värmeväxlare				100
Avlufts kanal och huv				30
Systemeffekter				200
Tot tryckfall				443,56

4.1.2 Fläktverkningsgrad och energianvändning

Verkningsgraden (η_{tot}) för hela fläkten beräknas till 0,6 enligt ekvation 2:

$$0,75 * 1 * 0,8 = 0,6$$

$$\eta_{fläkthjul} = 0,75$$

$$\eta_{transmission} = 1$$

$$\eta_{motor} = 0,8$$

Transmissionsförlusterna kan sättas till 1 eftersom fläkthjulet sitter direktmonterat på fläktmotorn. En verkningsgrad på 0,6 skulle kunna ifrågasättas då enligt (Warfvinge & Dahlblom, 2010) rekommenderade värden för en Axialfläkt ligger på 0,5.

Då luftflödena och tryckfallet är kända beräknas effektbehovet för fläktarna enligt tabell 5 och 6 för den beräknade tryckökningen samt den uppmätta. Beräkning av fläktarnas effektbehov ($P_{tillförd}$) utförs för sommar respektive vinterperioderna var för sig enligt ekvation 3.

Tabell 5, Beräknat effektbehov för fläktarna under sommarperioden.

Sommartid (beräknad)	η_{total}	q	Δp	$P_{tillförd}$
tilluft	0,6	$1,07 \text{ m}^3/\text{s}$	536 Pa	955 kW
frånluft	0,6	$1,07 \text{ m}^3/\text{s}$	444 Pa	790 kW
totalt				$1,745 \text{ kW}$

Endast effektbehovet för fläktarna under sommarperioden beräknas. För driftperioden under vintern kommer den energi som krävs för att driva fläktarna vara lägre. För att visa att effektbehovet för fläktarna är snarlikt mellan teori och uppmätta värden så beräknas effektbehovet för fläktarna tabell 5 med utgång från beräkningen av tryckfall enligt tabell 3 och 4 och jämförs mot de uppmätta värdena för differenstryck se tabell 6.

Differenstrycket sätts till $\Delta p = 527 \text{ Pa}$ för frånluften (På grund av fel på ventilationssystemet vid mätning se kapitel 4.1 så antas samma värde på från och tilluft då FTX-systemet normalt sett inte ska ge upphov till några nämnvärda tryckskillnader över klimatskärmen). Antagandet om samma tryckökning över fläktarna görs med en risk att tryckökningen över ena fläkten skulle kunna skilja med runt 50 Pa . En jämförelse mellan tabell 5 och 6 visar att skillnaden på det beräknade effektbehovet utifrån tryckfallsberäkning och differenstryckmätning är liten.

Tabell 6, Beräknat effektbehov för fläktarna utifrån uppmätta differenstryck över fläktarna under sommarperioden.

Sommartid (uppmätt)	η_{total}	q	Δp	$P_{tillförd}$
tilluft	0,6	$0,98 \text{ m}^3/\text{s}$	527 Pa	863 kW
frånluft	0,6	$0,98 \text{ m}^3/\text{s}$	527 Pa	863 kW
totalt				$1,726 \text{ kW}$

För att kontrollera effektbehovet under vinterperioden se tabell 7 så beräknas det istället med utgång från differenstryckmätning tabell 2.

Tabell 7, Beräknat effektbehov för fläktarna utifrån uppmätta differenstryck över fläktarna under vinterperioden

Vintertid (uppmätt)	η_{total}	q	Δp	$P_{tillförd}$
tilluft	0,6	$q = 0,49 \text{ m}^3/\text{s}$	130Pa	106W
frånluft	0,6	$0,46 \text{ m}^3/\text{s}$	118Pa	91W
totalt				0,196kW

Drifttiden är beräknad utifrån den tid då ventilationssystemet är aktivt under dagarna se (kapitel 3.6 tabell 1). I tabellen syns inte att ventilationen minskas under vinterhalvåret eftersom det är en ändring som utförs manuellt av driftsteknikerna.

Under en vanlig månad bortsett från afton och andra speciella dagar uppnås en drifttid på 244 timmar. För att få fram hur många kilowattimmar som används under en månad kan effektbehovet multipliceras med antalet timmar under den tidsperiod som avses vilket i detta fall är en månad.

Sommartid beräknad: $1,745 * 244 = 426 \text{ kWh}$

Sommartid uppmätt: $1,726 * 244 = 421 \text{ kWh}$

Vintertid uppmätt: $0,196 * 244 = 48 \text{ kWh}$

Värden beräknade från det uppmätta differenstrycket för energianvändningen jämförs med simuleringens resultat för att säkerställa att de inställningar och justeringar som görs i simuleringsprogrammet IDA-ICE stämmer mot det uppmätta värdena.

4.3 Energisimulering

Luftflödena i respektive zon är korrigerade enligt ritning i bilaga 1 för att korrekta luftflöden ska uppnås i simuleringen. Med IDA-ICE beräknas flödena i zonerna utifrån antalet kvadratmeter så kan det innebära att flödena avviker lite från de verkliga. Luftflödena har korrigerats genom att öka samt minska på några zoners luftflöden så att det totala luftflödet i energisimuleringsmodellen stämmer överens med de uppmätta luftflödena. Diagram 1 visar luftflödena i systemet enligt simuleringen.

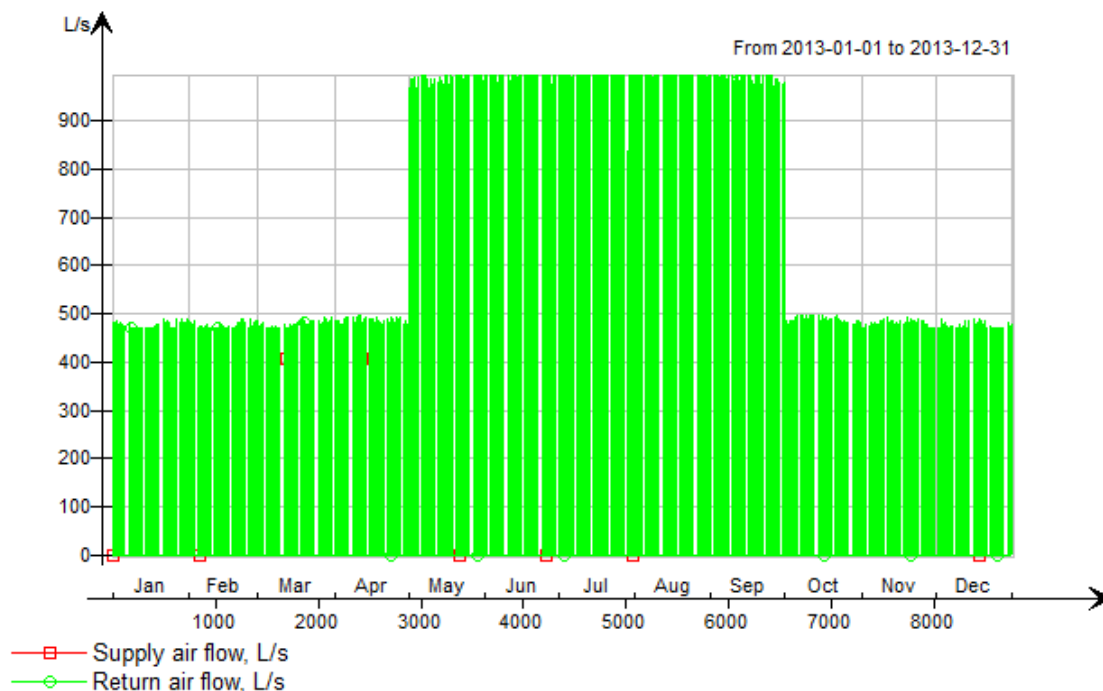


Diagram 1, Simulerade värden på ventilationsflöden L/s över året

Utifrån analysen av mätvärden antas en verkningsgrad på 76%, vilket är medelvärdet minus standardavvikelsen på mätvärdena. Även om verkningsgraden i flera fall är högre enligt mätning så antas det lägre värdet för att inte överskatta systemets energiåtervinning.

Även tryckökningen över fläktarna korrigeras för att stämma överens med de uppmätta värdena för att ge en så korrekt bild som möjligt över energianvändningen hos fläktarna, se figur 11.

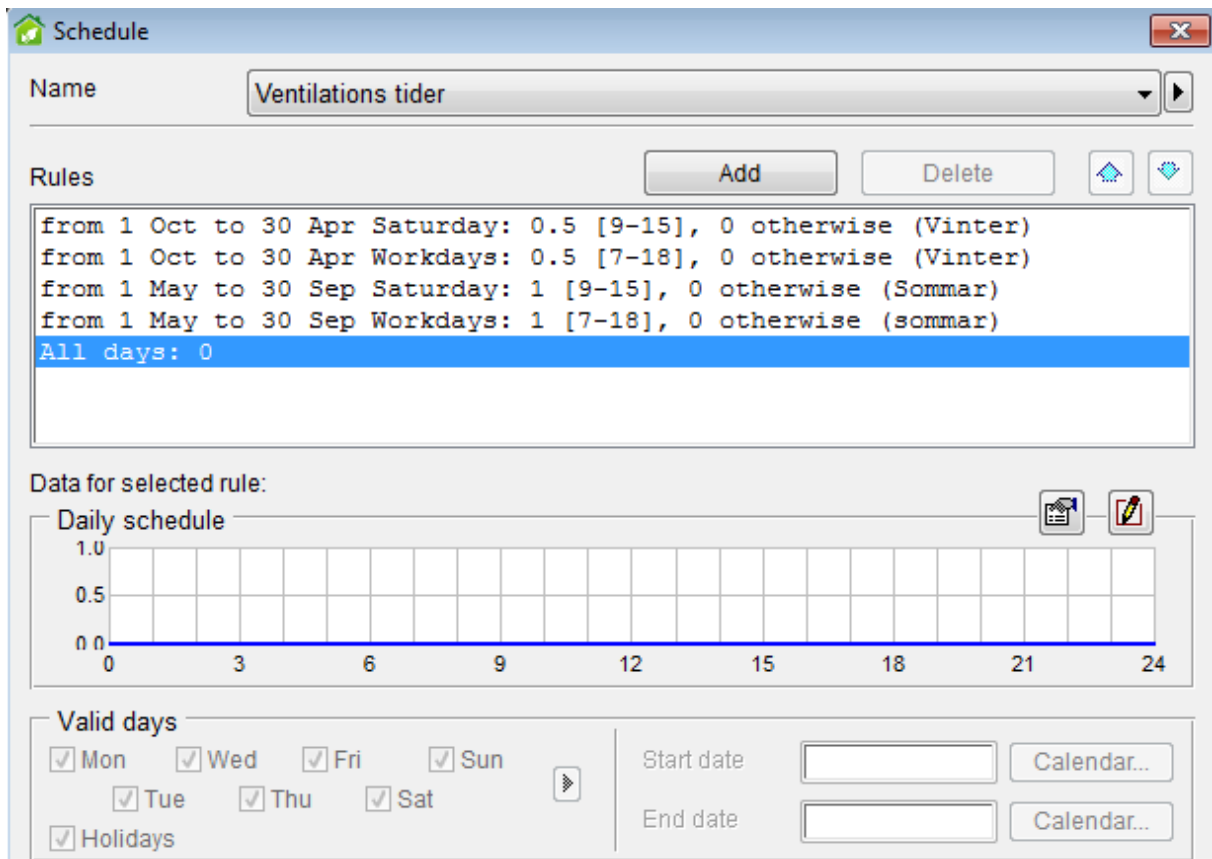
Fan

Performance at rating

Pressure rise	<input type="text" value="530.0"/>	Pa	<input type="button" value="Give SFP"/>
Efficiency (electr. to air)	<input type="text" value="0.6"/>	-	

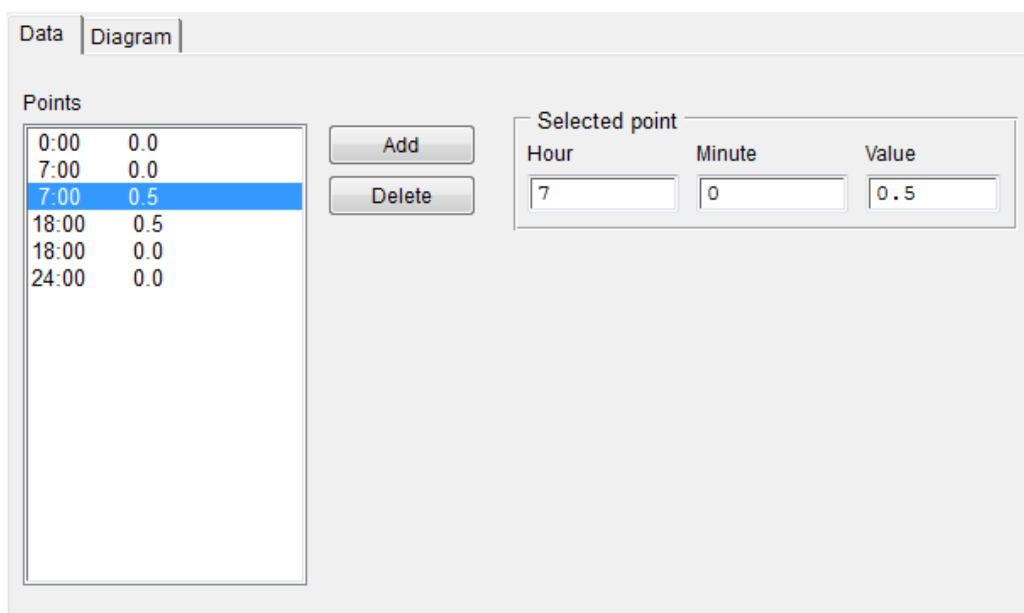
Figur 11, Bild över inställning för tryckökning över fläkt. Inställningen måste utföras för respektive fläkt i systemet.

Schema för ventilationsanläggningens driftstider har korrigerats utifrån informationen om driftstider i (kapitel 3.6 tabell 1) och den manuella sänkningen av luftflödet som sker mellan oktober och april. I simuleringen har driftstiden approximerats till 7:00-18:00 se figur 12. Enligt tabell 1 startar ventilationssystemet 06:30 på måndagar och stänger av 17:30 på fredagar. Approximationen 7:00-18:00 medför en liten ändring från tabell 1 men är fortfarande samma mängd drifttimmar som aggregatet är igång bara förskjutet 30min.



Figur 12, Schema över ventilationssystemets drifttider

För att simulera vintertiden då systemet går på halvfart har "value" parametern i figur 13 i schemainställningarna satts till 0,5. Parametern kommer att medföra att luftflödet är halverat under angiven period.



Figur 13, Figur över inställning av "value" parametern.

Lufttätheten för byggnaden har ändrats till $1,617 L/s * m^2$ för omslutande area i enlighet med Linden & Lindströms (2015) uppmätta luftläckage för byggnaden se figur 14.

Method

Infiltration units

Wind driven flow

Air tightness L/(s.m2 ext. surf.)

at pressure difference Pa

[Pressure coefficients](#)

Figur 14, inställningar för byggnadens luftläckage enligt (Linden & Lindström, 2015)

Efter att ovanstående parametrar korrigerats utförs en simulering över ett helt år för att se hur mycket energi som totalt används för att driva FTX-systemet samt hur stor energibesparing som FTX-systemet kan förväntas ge upphov till se tabell 7.

Tabell 7, Simulerade värden på ventilationssystemets energianvändning och återvinning under året.

kWh (sensible and latent)						
Month	Heating	Cooling	AHU heat recovery	AHU cold recovery	Humidification	Fans
1	2041.0	0.0	1798.0	0.0	0.0	59.9
2	1866.0	0.0	1663.0	0.0	0.0	52.7
3	1535.0	0.0	1512.0	0.0	0.0	56.5
4	942.1	0.0	1215.0	0.0	0.0	57.8
5	142.7	0.0	2431.0	0.0	0.0	481.6
6	0.3	0.0	860.2	0.0	0.0	437.9
7	0.0	0.0	256.4	0.0	0.0	487.0
8	0.0	0.0	613.8	0.0	0.0	477.3
9	63.3	0.0	1694.0	0.0	0.0	444.7
10	1016.0	0.0	1088.0	0.0	0.0	60.3
11	1449.0	0.0	1354.0	0.0	0.0	56.6
12	1972.0	0.0	1750.0	0.0	0.0	57.5
Total	11027.4	0.0	16235.4	0.0	0.0	2729.7

Utifrån Tabell 7 så kan det utläsas att energiåtervinningen för systemet är som högst under vinterhalvåret. Mängden återvunnen energi hos systemet minskar ju mindre temperaturdifferens det är mellan utomhusluften och önskad tilluftstemperatur. Det sker eftersom luften då inte behöver värmas lika mycket för att nå önskad tilluftstemperatur. En kontroll av fläktarnas energianvändning mot den uppmätta och beräknade energianvändningen visar att värdena är snarlika. Vintertid blev beräkningen 48kWh medan simuleringen gav runt 55kWh vilket är nära. Samma gäller sommarens beräknade värde på 420kWh där simuleringen ligger runt 450kWh. Med de beräknade värdena för energianvändningen bekräftas det att simuleringens energianvändning stämmer överens med genomförd beräkning enligt kapitel 4.1.2.

I diagram 2 syns hur mycket mer energi som går åt för att driva fläktarna, då flödet är dubbelt så högt krävs nästan åtta gånger så mycket energi för att kunna leverera luftflödet. Det beror på att ju högre tryck som ska uppnås desto mer energi behöver tillföras för att höja trycket ytterligare.

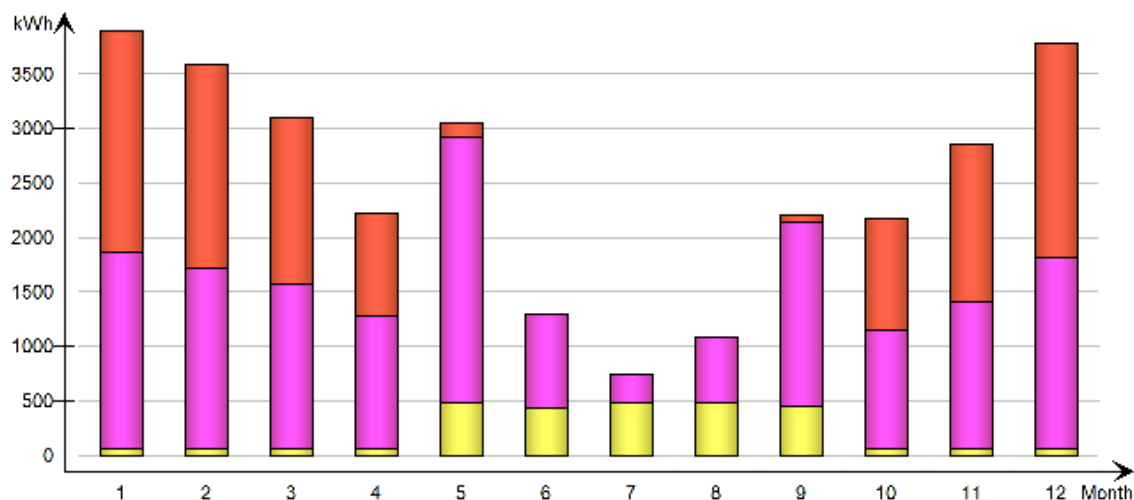


Diagram 2, Diagram över simulerad energianvändning och återvinning för ventilationssystemet under året där gul= energianvändning för fläktarna, Röd= energianvändning för uppvärmning av tilluften, Lila= energiåtervinningen av värmeväxlaren

Resultaten från simuleringen som visas i tabell 8 och diagram 3 visar på en årlig energianvändning på $126,4 \text{ kWh/m}^2$ vilket kan ställs mot den uppmätta årliga användningen 2013 på 122 kWh/m^2 enligt Ronald (2014). Det medför en felmarginal på runt 3,6% för modellen. Det medför att modellen kan användas för att beräkna åtgärder för energieffektiviseringar med en felmarginal på under 5%.

Tabell 8, Simuleringsresultat för byggnadens energianvändning under ett år.

Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Electric cooling	0	0.0	0.0
■	HVAC aux	2757	3.4	1.77
■	Electric heating	1196	1.5	3.0
	Total, Facility electric	3953	4.9	
■	District heating	53982	66.4	46.45
	Total, Facility district	53982	66.4	
	Total	57935	71.2	
□	Lighting, tenant	25750	31.7	13.65
□	Equipment, tenant	19078	23.5	2.37
	Total, Tenant electric	44828	55.1	
	Grand total	102763	126.4	

Monthly Purchased/Sold Energy

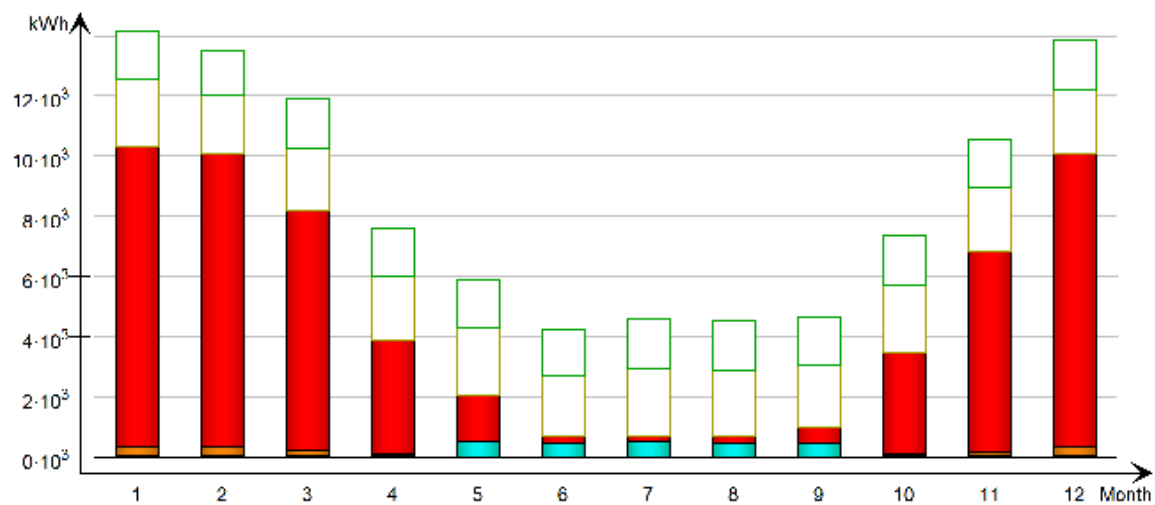


Diagram 3, Energisimuleringsresultat för byggnadens energianvändning under ett år där färgernas betydelse förklaras i tabell 8.

5. Diskussion och slutsatser

5.1 Kalibrerad ventilation utifrån mätdata i energisimuleringsmodell

För att kalibrera modellen utefter luftflöden så mättes differenstrycket över fläktarna vid ett tillfälle för två olika tryck. De olika tryck motsvarar de tryck som råder under sommarperioden eller vinterperioden. Vad det gäller differenstrycken så kommer de inte att variera ifall inte inställningarna för systemet ändras. Svagheten med att ha gjort endast en mätning av respektive temperaturdifferens är att det inte går att se hur ofta som forcering av ventilationssystemet sker. Det går inte heller att notera ifall ventilationen höjs eller sänks av fler anledningar än att slippa drag i byggnaden under vinterhalvåret. Den beräknade tryckökningen över tilluftsfläkten för vinterperioden (kapitel 2.5) skiljer sig lite ifrån de uppmätta värdena på tryckdifferensen (kapitel 4.1). Skillnaden beror på att tryckfallet för flera komponenter i systemet har antagits med hjälp av schablonvärden från Warfvinge & Dahlblom (2010). Även den mänskliga faktorn vid uppställning av alla ingående komponenter utifrån ritningen kan ha påverkat resultatet. Frånluftfläktens tryckdifferens stämmer för forcerat ventilationsflöde, vilket innebär att ett spjäll fastnat och det kunde inte åtgärdas i samband med mätningarna. Det medför att den uppmätta tryckdifferensen för frånluften vid vanlig drift under sommarperioden inte används i simuleringen utan istället antas tilluften- och frånluften ha samma tryckökning.

För fläktarnas effektbehov krävs att tryckökningen över fläktarna är känd samt vilken verkningsgrad fläkten har. Beräkning av verkningsgraden för fläkten gav en verkningsgrad på 0,6 (se kapitel 2.5). Den beräknade verkningsgrad är aningen högre än vad Warfvinge & Dahlblom (2010) skriver som rekommenderad total verkningsgrad för beräkning av system med axialfläktar. Det kan vara så att verkningsgraden för fläkten inte är 0,6 som den var från början på grund av slitage på fläktmotorn och dess komponenter, över 17 år kan påverka verkningsgraden. I energisimuleringsmodellen tas inte hänsyn till minskningen av verkningsgraden för fläktarna eftersom den är okänd.

5.2 Utförda mätningar på Gamla rådhuset i Piteå

Temperaturverkningsgraden för FTX-systemet uppmättes under två veckor i april och sedan gjordes en statistisk analys över mätloggarna (se kapitel 4.1). Analysen låg till grund för att använda en temperaturverkningsgrad på 76 % i simuleringen. Att logga temperaturverkningsgraden i april kan ge ett fördelaktigt värde för värmeåtervinningen. För att inte överskatta återvinningen antogs därför ett lågt värde av det som uppmättes. Enligt simuleringen i (kapitel 4.3) återvinner värmeväxlaren ungefär 16000kWh per år. Det är inte den energibesparing systemet ger eftersom det även krävs en del energi till att driva värmebatteriet och fläktarna. Eftersom temperaturverkningsgraden inte är ett fast värde utan beror på rådande temperaturer (Kang et al., 2010) hade det varit fördelaktigt för simuleringen att ha mätloggar på verkningsgraden över ett helt år för att med större säkerhet kunna uppskatta värdet. Det skulle även vara intressant att följa värmeväxlarens temperaturverkningsgrad under en längre period på ett helt år för att se om temperaturverkningsgraden varierar och i så fall hur mycket. Studien skulle kunna leda till

att anpassa systemets temperaturverkningsgrad ytterligare och påverka den simulerade energiåtervinningen i systemet med några procent.

5.3 Otätheternas inverkan på värmeåtervinningen

Det är svårt att uttala sig om hur mycket otätheterna i en byggnad påverkar FTX-systemet då det är så pass många parametrar som inverkar. Däremot finns det ett tydligt samband mellan utomhustemperaturen och frånluftstemperaturen i systemet vilket innebär att vid en lägre utomhustemperatur kan systemet återvinna mindre energi av frånluften. Den informationen i kombination med att det upplevs kalldrag i byggnaden vid projekterat ventilationsflöde som blir bättre med ett lägre flöde gör att misstankarna riktas mot byggnadens otätheter.

Vid en luftläckagemätning fås inte svar om var otätheterna sitter eller i vilken omfattning. Till en viss del kan otätheterna lokaliseras med en värmekamera efter provtagningen och därifrån kan ett resonemang föras över var byggnadens otätheter är lokaliserade, vilket är gjort enligt Linden & Lindström (2015). Med utgångspunkt att det är vinden som påverkar mest se (kapitel 2.4) beror det både på vindriktning och hastighet samt byggnadens placering. Det som även kommer in i ekvationen blir då luftens temperatur för ju närmare inomhustemperaturen det är desto mindre kommer det påverka energiåtervinningen i systemet. För att ytterligare kunna undersöka hur energibesparingen av ett FTX-system påverkas av otätheterna i byggnaden skulle en liknande studie kunna utföras för flera byggnader med olika nivå av otätheter för att se ifall det ger olika påverkan.

Energisimuleringsmodellen är efter korrigering i detta arbete på en felmarginal om 3,5 % jämfört med verkligt uppmätt värde på byggnadens totala energianvändning år 2013 enligt Cruz (2014). Energisimuleringsmodellen ligger inom en felmarginal på 5%, vilket leder till att minskning av energianvändningen i byggnaden efter eventuella ändringar kan beräknas med en säkerhet på 5 % genom att använda den framtagna modellen. För framtida studier angående energieffektivisering av byggnaden kan modellen användas som underlag vid test av olika energieffektiviserande åtgärder. Eftersom modellen har relativt liten felmarginal kan den användas även vid simulering av små förändringar som kanske inte kräver så stor inverkan på byggnaden men ändå minskar dess energianvändning.

Litteraturförteckning

Böcker

- FoU-Syd. (2008). *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader*. Malmö: Sveriges byggindustrier.
- FoU-Väst. (2007). *Lufttäthets handbok problem och möjligheter*. Göteborg: Sveriges byggindustrier.
- Petersson, B.-Å. (2009). *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.

Rapporter

- Blomsterberg, Å., & Burke, S. (2012). *Verklig lufttäthet i stora byggnader - Mätningar och beräkningar*. Malmö. Hämtad från:
<http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/59aa6327-252a-4476-9412-f726096dad7/FinalReport/SBUF%2012499%20Slutrapport%20Verklig%20lufttäthet%20i%20stora%20byggnader%20-%20Mätningar%20och%20beräkningar.pdf>
- Energimyndighet, S. (2012a). *Up-rapport Byggnader i energisystemet*. Statens energimyndighet (ER 2012:10). Hämtad från: <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/nyheter/2012/er-2012-10-up-rapport-byggnader-i-energisystemet.pdf>
- Energimyndighet, S. (2012b). *Spara och bevara- Energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefull bebyggelse* (ET 2012:02). Energimyndigheten. Hämtad från: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=784>
- Linden, E., & Lindström, S. (2015). *Luftläckagemätningar i tre historiska byggnader - Piteå Museum, Biblioteket Öjebyn, Bergströmska gården Luleå*. Gävle: Högskolan i Gävle.
- Sandberg, P. I., Sikander, E., Wahlgren, P., & Larsson, B. (2007). *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler* (SP Rapport 2007:23). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962416/FULLTEXT01.pdf>
- Söderberg, U., & Kjellberg, H. (2005). *Liggtimmerhus tillsyn och reparation (Rapport RAÄ 1992:2)*. Eskilstuna: Riksantikvarieämbetets förlag. Hämtad från:
<http://samlar.raa.se/xmlui/handle/raa/242>

Examensarbete

- Johansson, V. (2011). *Energieffektiva byggnader i kallt klimat - En undersökning av energiprestanda för fyra enfamiljshus i Umeåregionen*. Examensarbete, Umeå: Umeå Universitet - Institutionen för Tillämpad Fysik och Elektronik.
- Ronald, C. (2014). *Byggtekniska åtgärder för energieffektivisering av kulturhistorisk värdefull byggnad*. Examensarbete, Luleå: Luleå tekniska universitet - Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser.

Tidskrift

- Kang, Y., Wang, Y., Zhong, K., & Liu, J. (2010). Temperature ranges of the application of air-to-air heat recovery ventilation in supermarkets in winter, China. *Energy and buildings*, volume 42, Issue 12, Page 2289-2295.

Younness, E. F., Stabat, P., Rivière, P., Hoang, P., & Archambault, V. (2012). Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings. *Energy and buildings*, Volume 54, Issue 12, Page 29-39.

Övriga källor

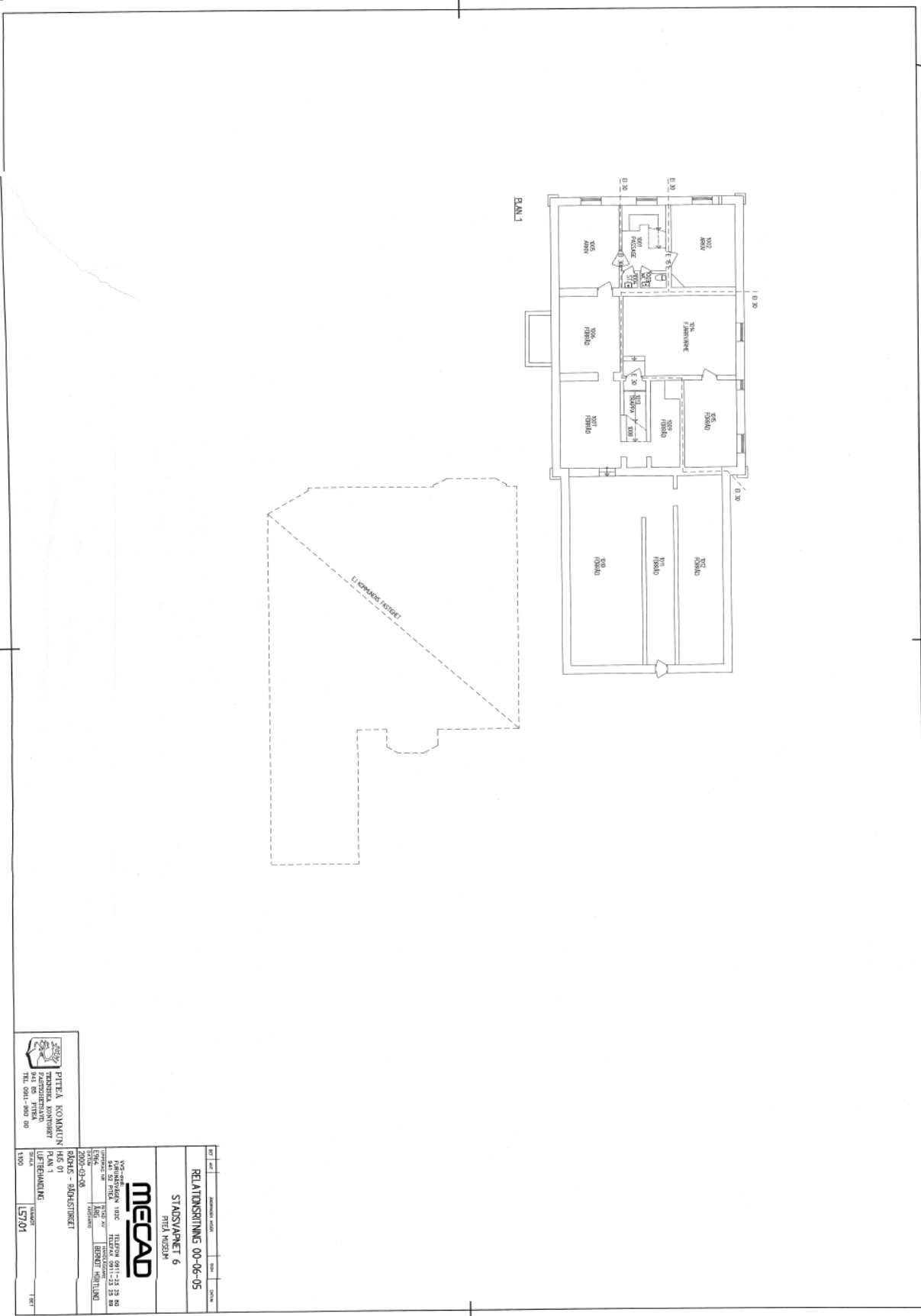
KarfaxAB. (2000). Nova luftbehandlingsaggregat drift och skötsel installation. Opublicerat Aggregatmanual, Älvsbyn.

Norrbotten, L. i. (1994). Beslut om byggnadsminnesförklaring av F D rådhuset, KV Stadsvapnet 1, Rådhusorget, Piteå Kn, Norrbotten. Luleå, Norrbotten, Sweden.

Swedish standard institute. (den 22 12 2000). Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttäthet - Tryckprovningmetod (ISO 9972:1996, modifierad).

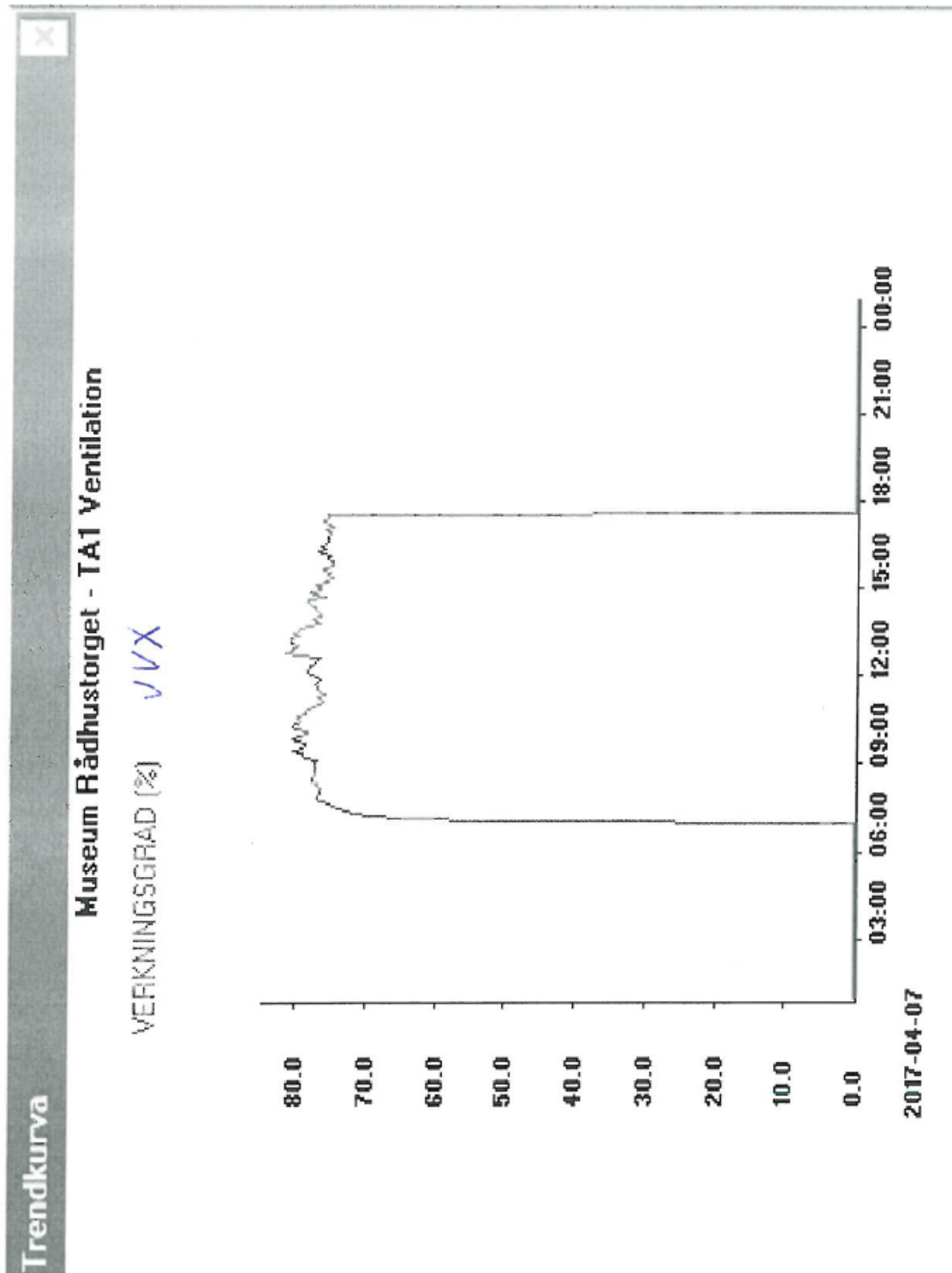
Swedish standard institute. (den 28 09 2015). Bestämning av byggnaders lufttäthet - Tryckprovningmetod (ISO 9972:2015).

Bilaga 1 – Ventilationsritningar



PITTEÅ KOMMUN PLAN- OCH BYGGNADSTÄLLNING 2000-03-08 RÅHÅS - RIMSTADEN HÅC 01 PLAN 1 UTRIKEMÅTT 1:50 15704	MECAD VERKSTÄLLNING OCH TILLGÅNGSPÅRNING ÅRSTADEN 183 447 52 MILA ESKA HÅC BRÄNT HJÄLPLUND	RELATIONSRIKING 00-06-05 STADSPLANET 6 HÅC 01 183	VERKSTÄLLNING OCH TILLGÅNGSPÅRNING ÅRSTADEN 183 447 52 MILA ESKA HÅC BRÄNT HJÄLPLUND 183
---	--	--	---

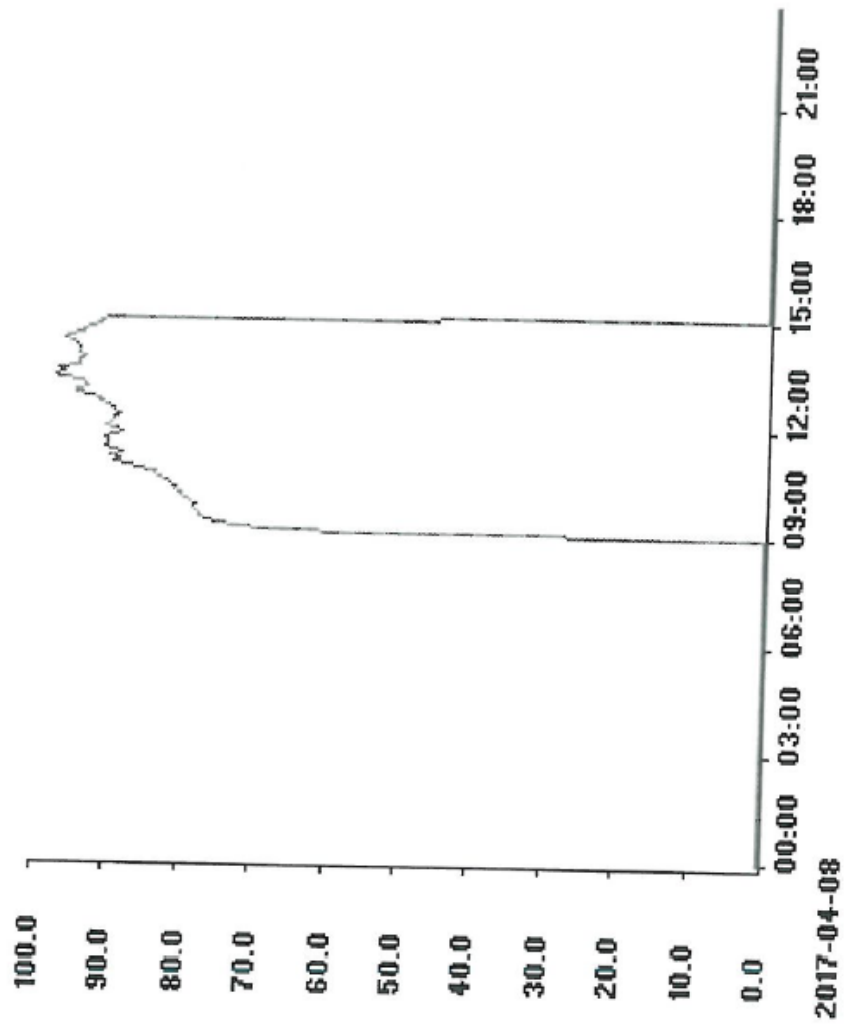
Bilaga 2 – Loggar över verkningsgrad



Trendkurva

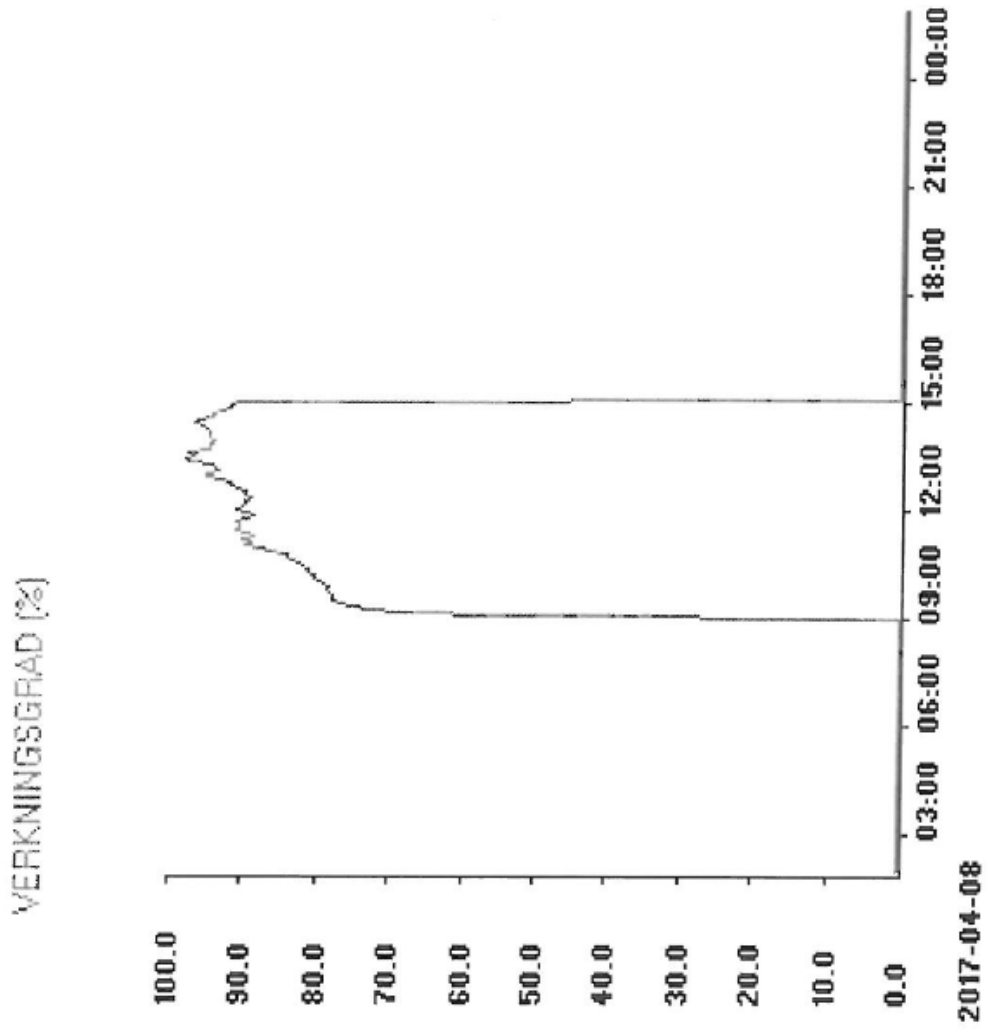
Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

VERKNINGSGRAD (%) VVX



Trendkurva

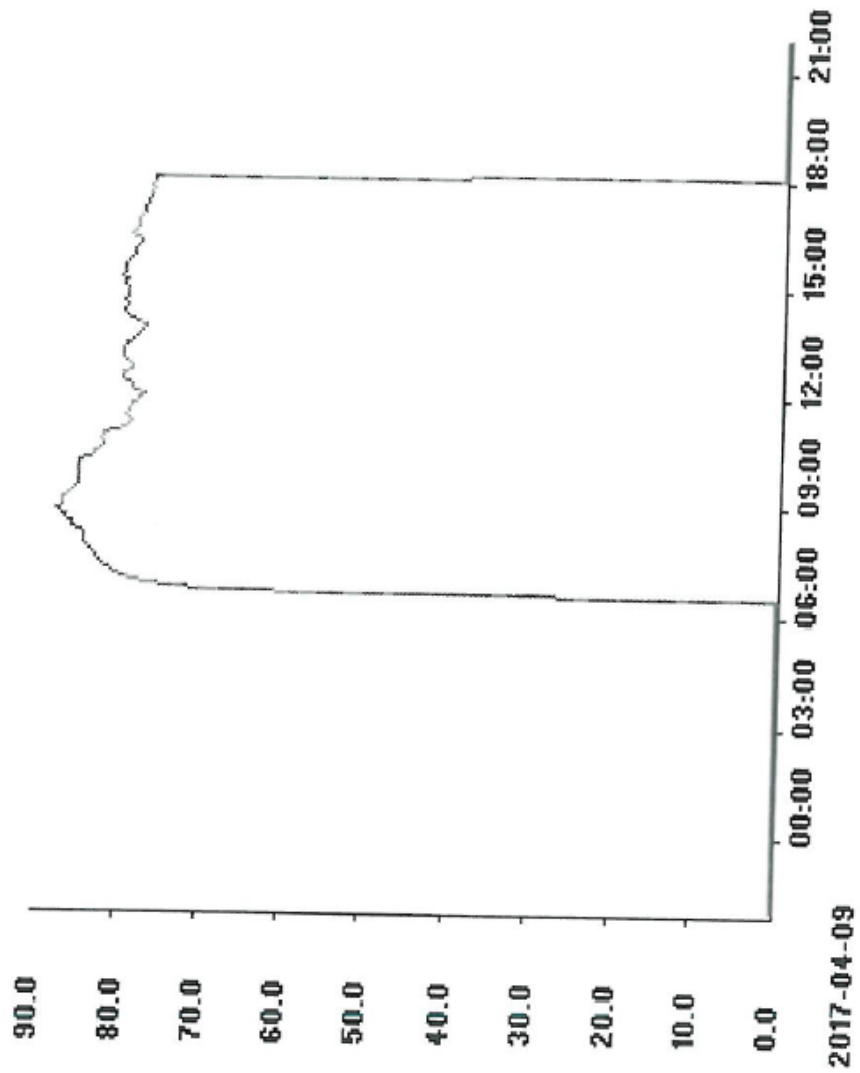
Museum Rådhusstorg - TA1 Ventilation



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

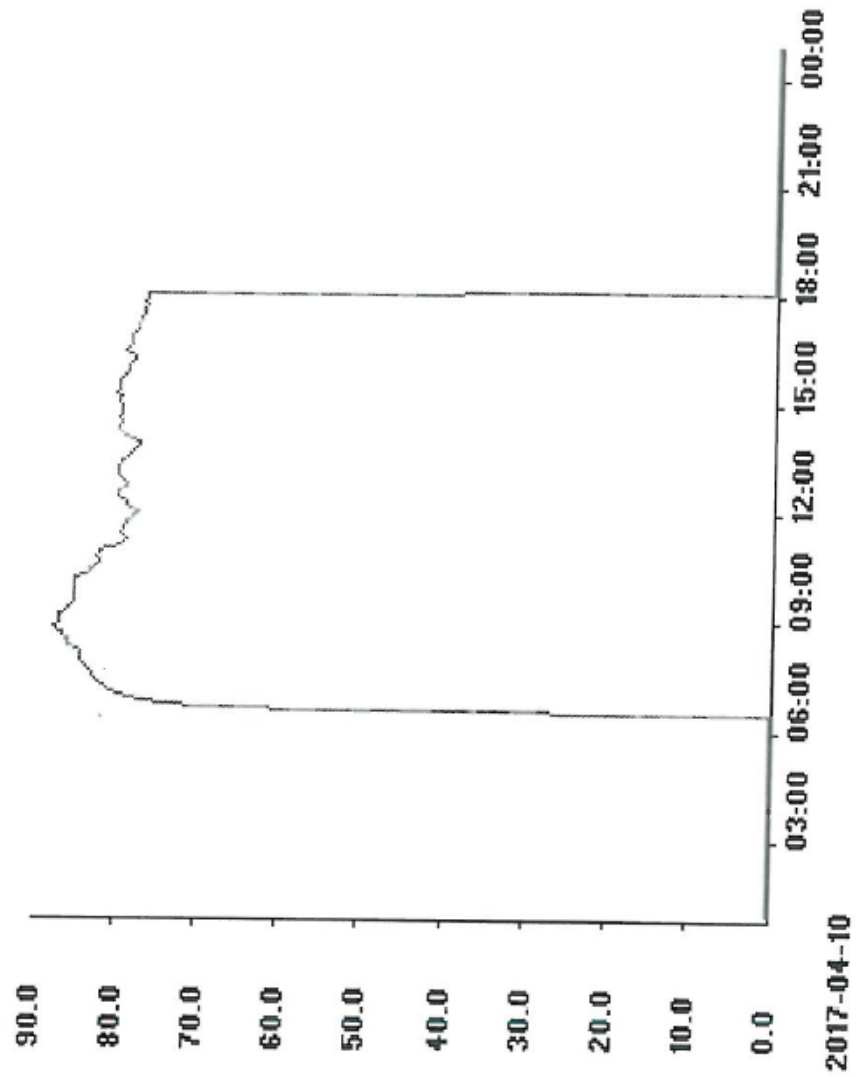
VERKNINGSGRAD (%) VVx



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

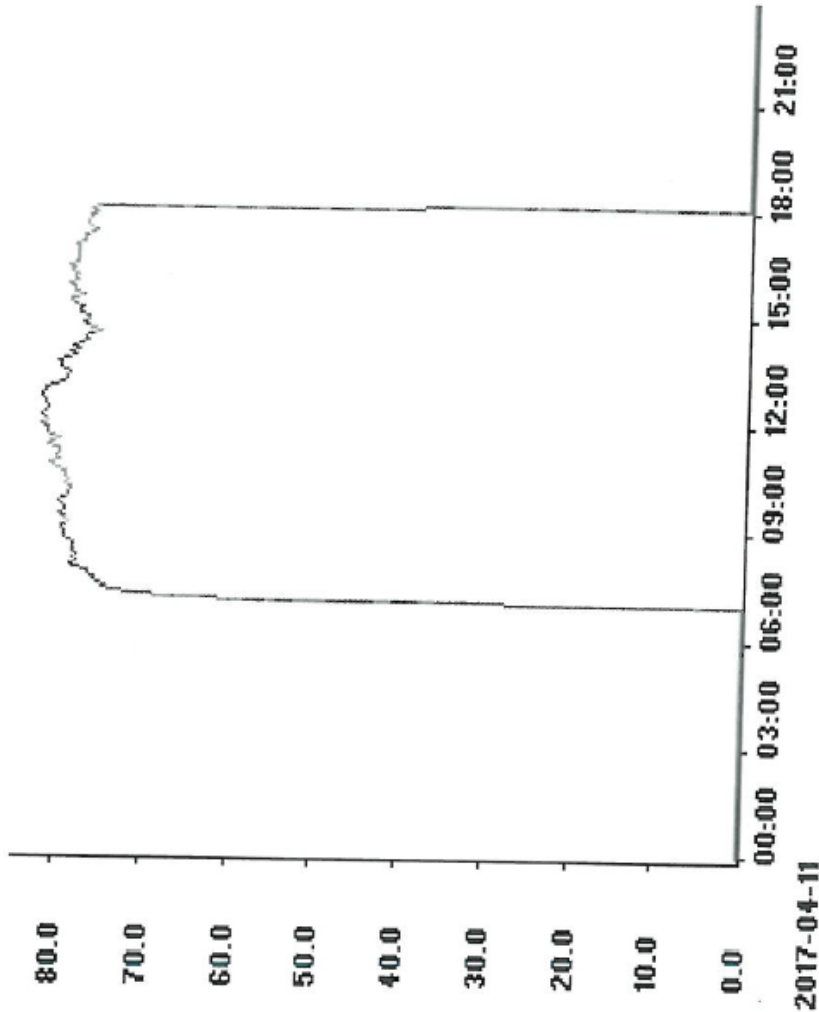
VERKNINGSGRAD (%) 



endkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

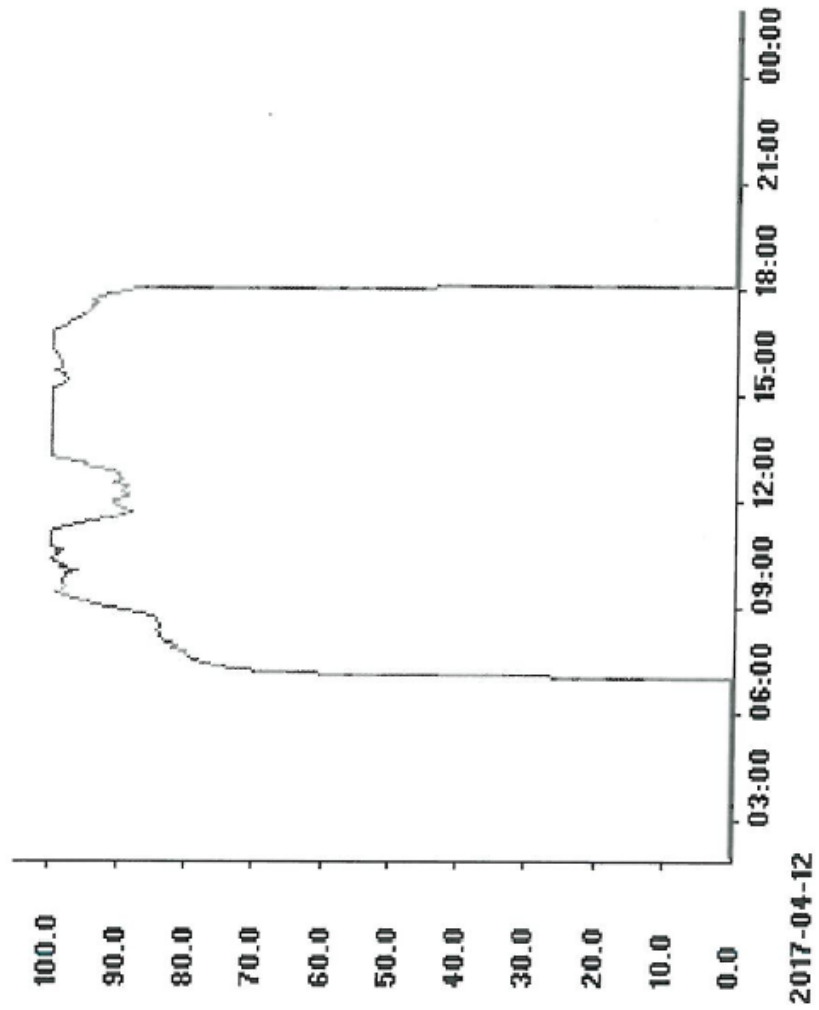
VERKNINGSGRAD (%) *VUX*



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

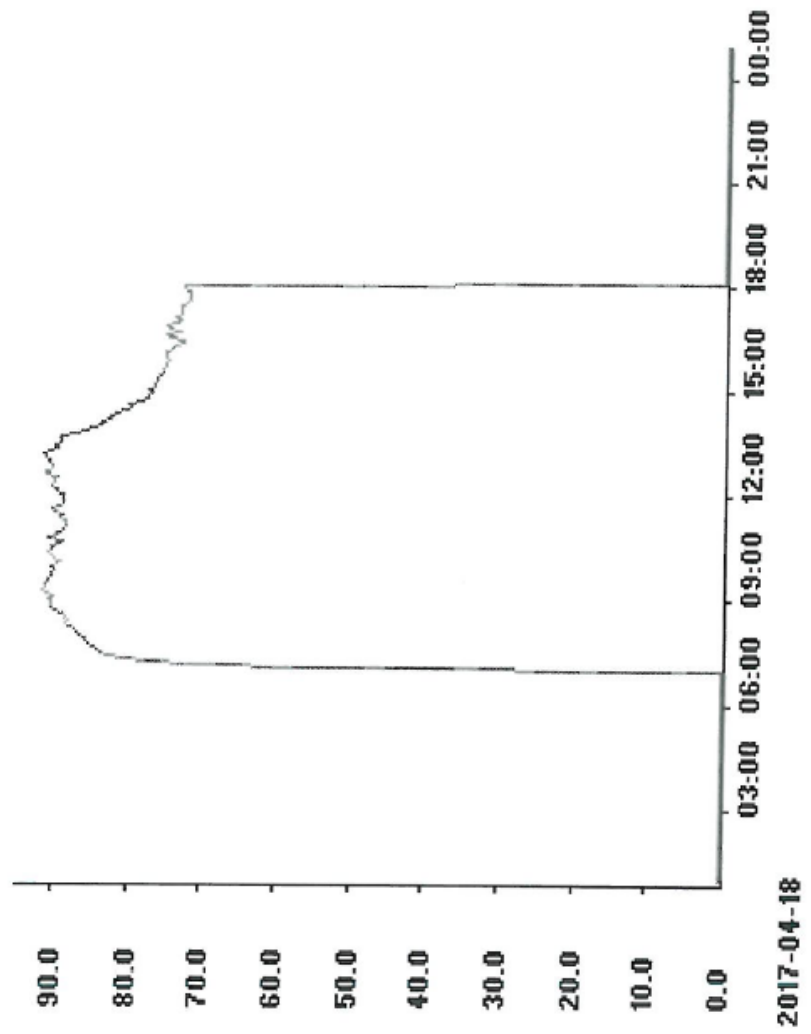
VERKNINGSGRAD [%] *VIX*



Trendkurva

Museum Rådhusstorg - TÅ1 Ventilation

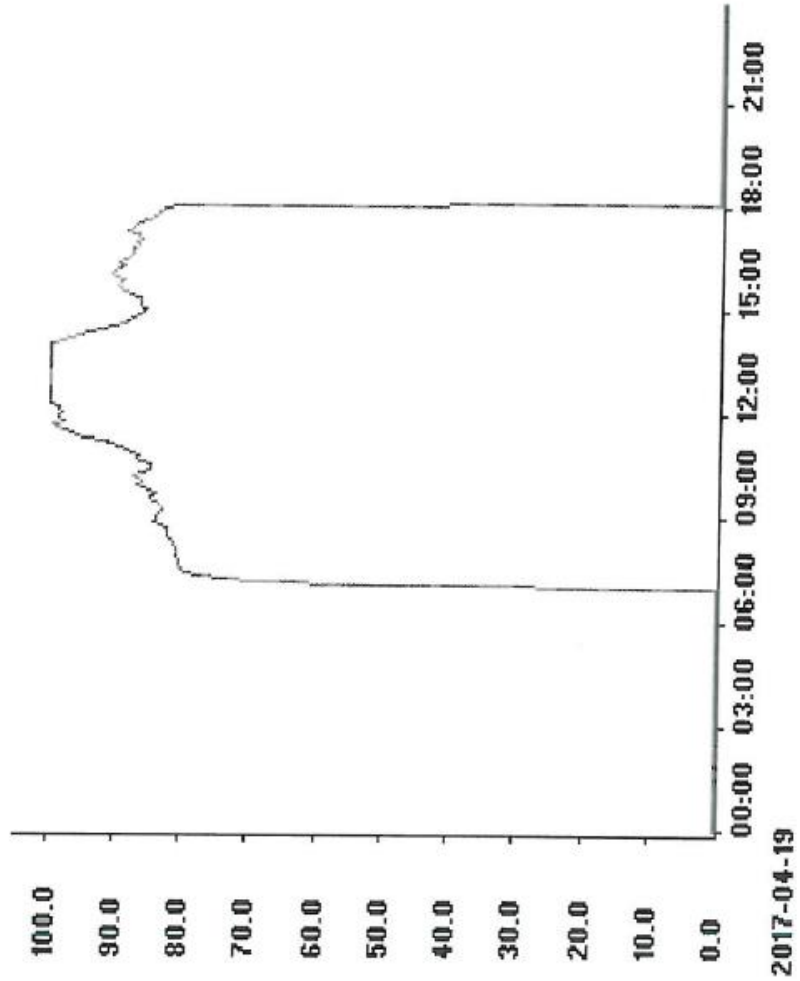
VERKNINGSGRAD (%) VVX



Trendkurva

Museum Rådhusstorg - TA1 Ventilation

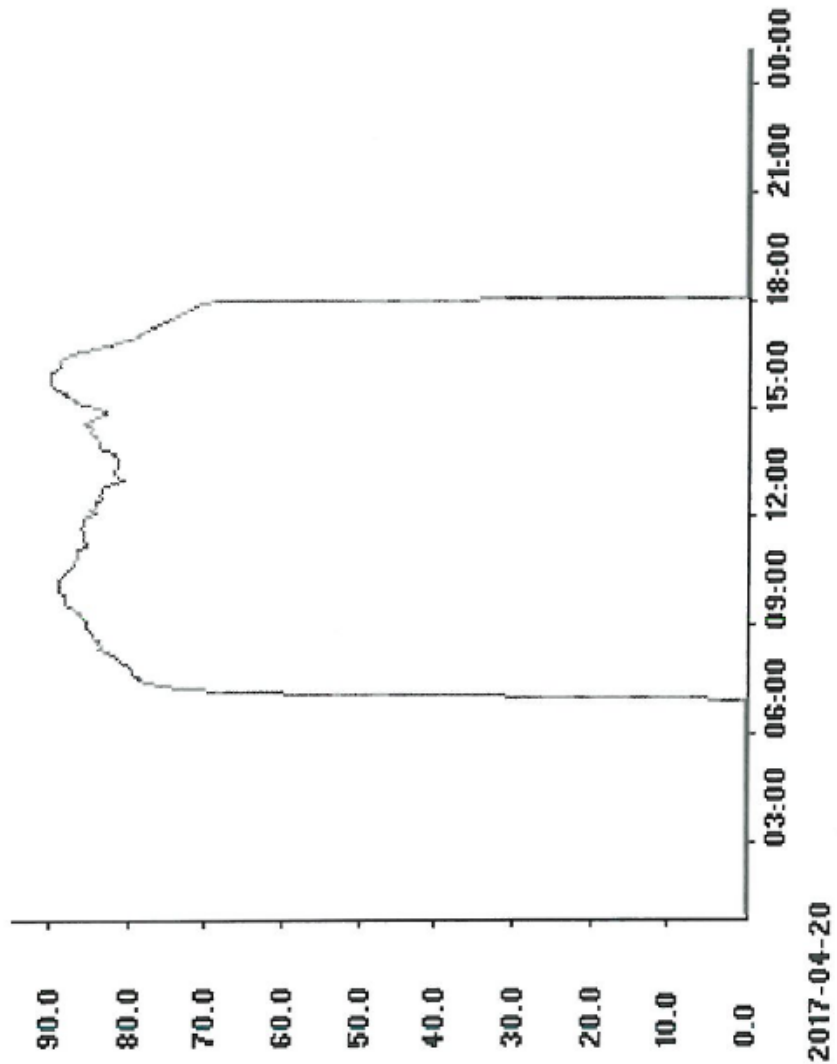
VERKNINGSGRAD (%) VVX



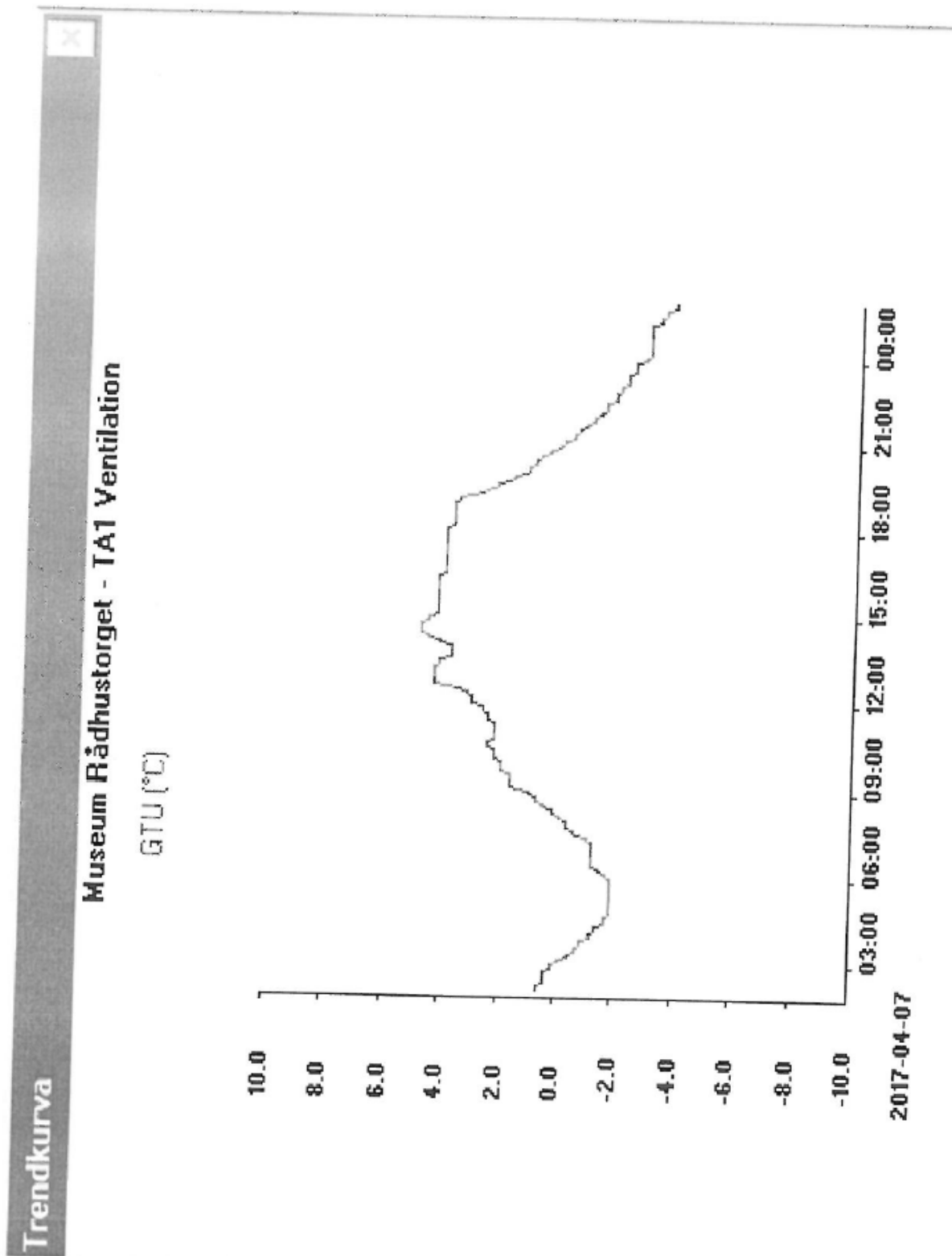
Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

VERKNINGSGRAD (%) VVX



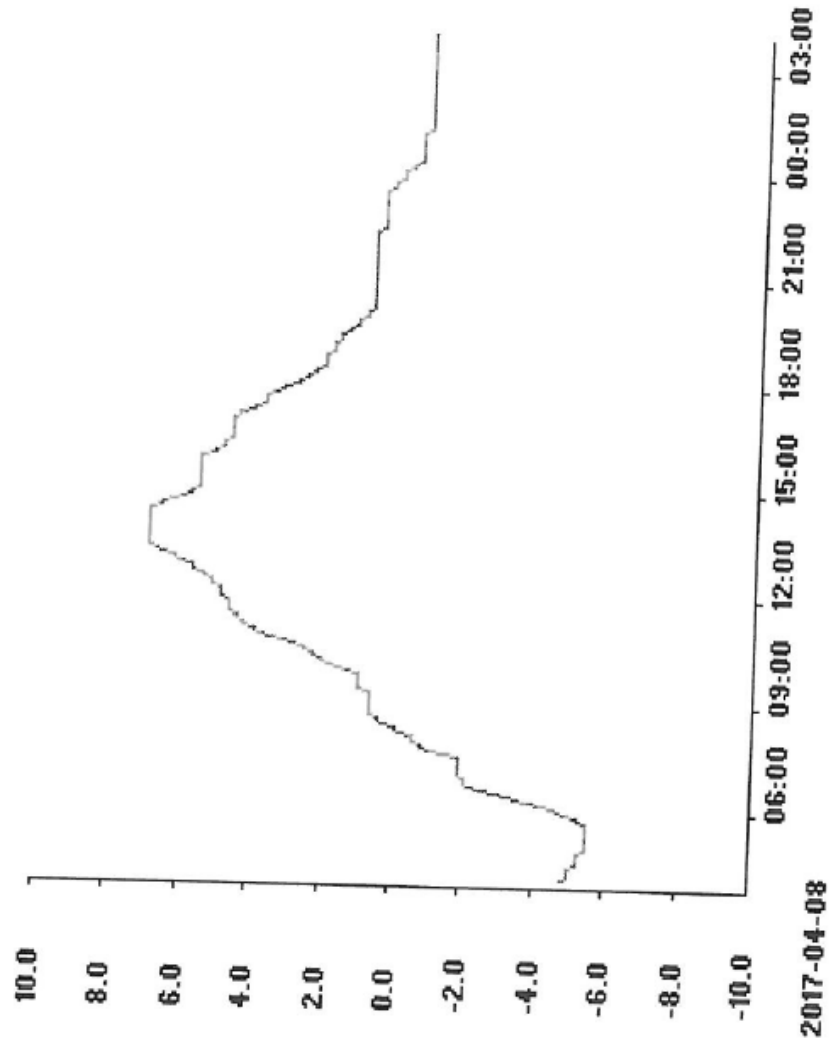
Bilaga 3 – Loggar över utomhustemperatur



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

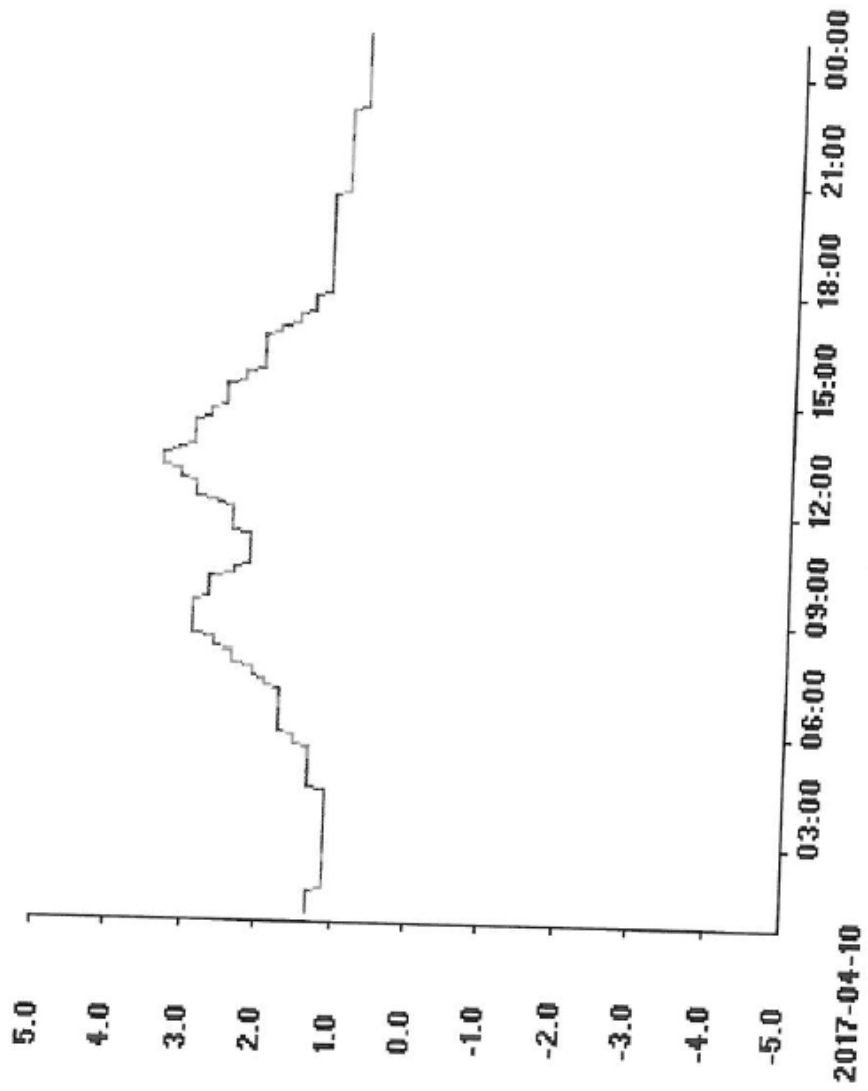
GTU (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

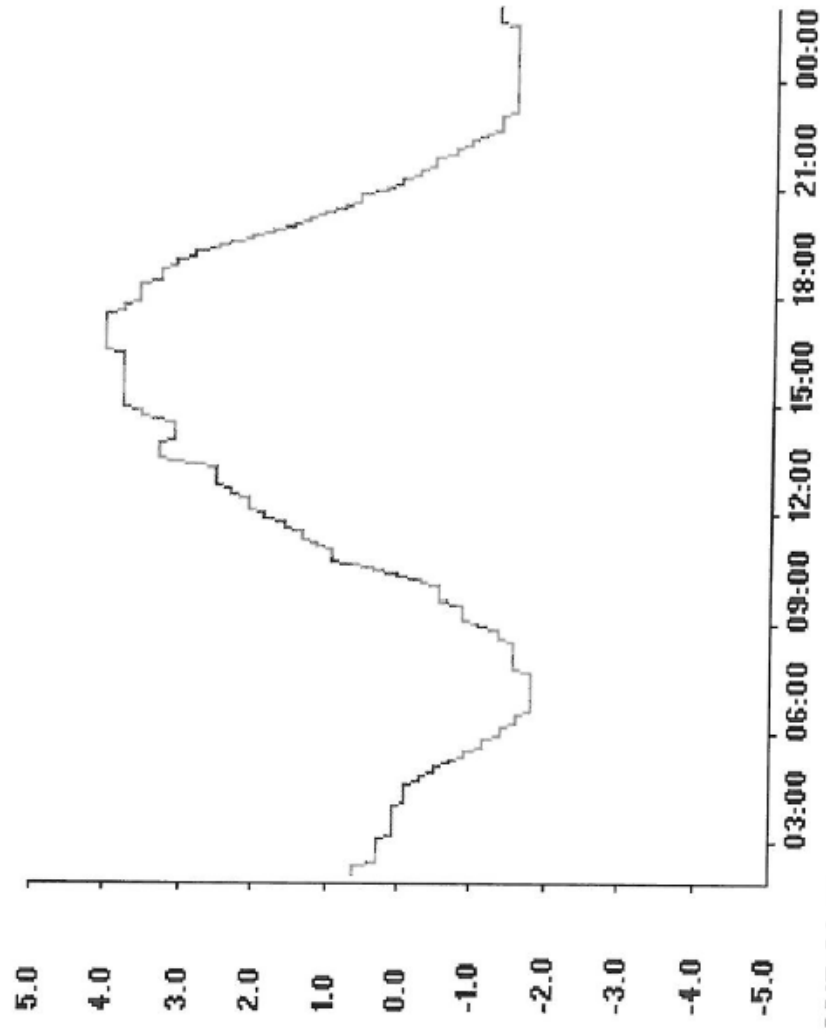
GTU (°C)



Trendkurva

Museum Rådhus torget - TA1 Ventilation

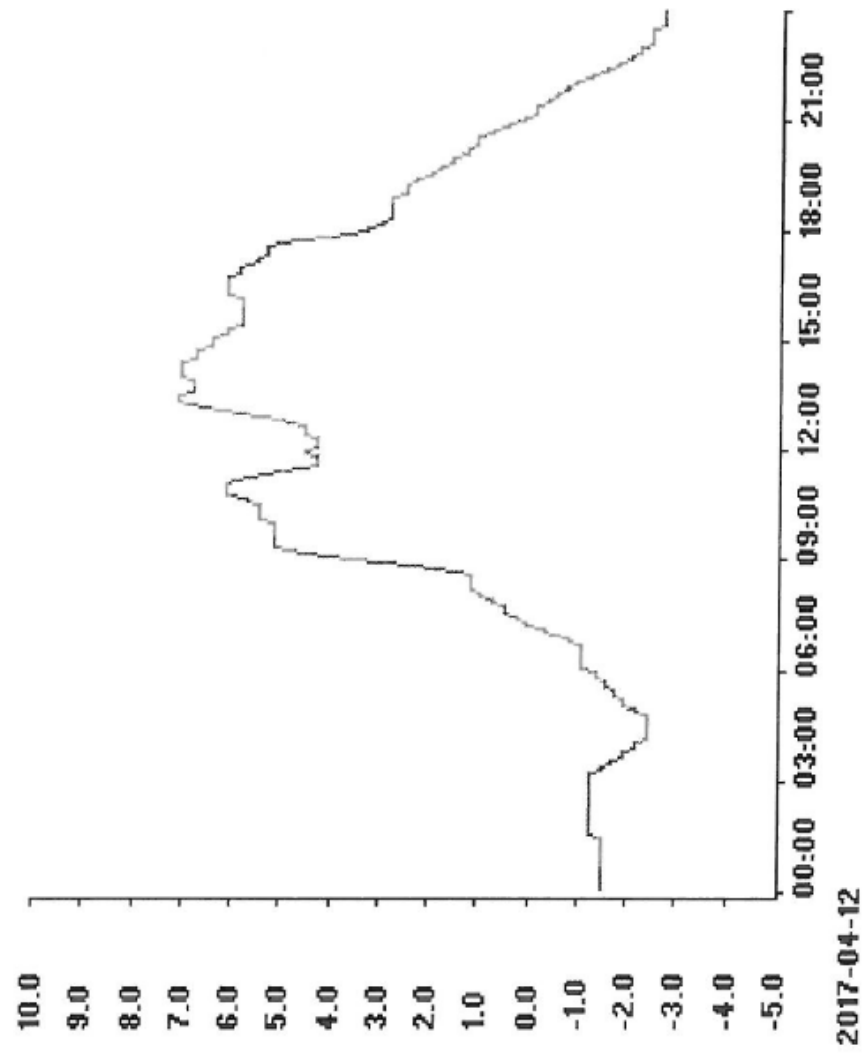
GTU (°C)



Trendkurva

Museum Rådhus torget - TA1 Ventilation

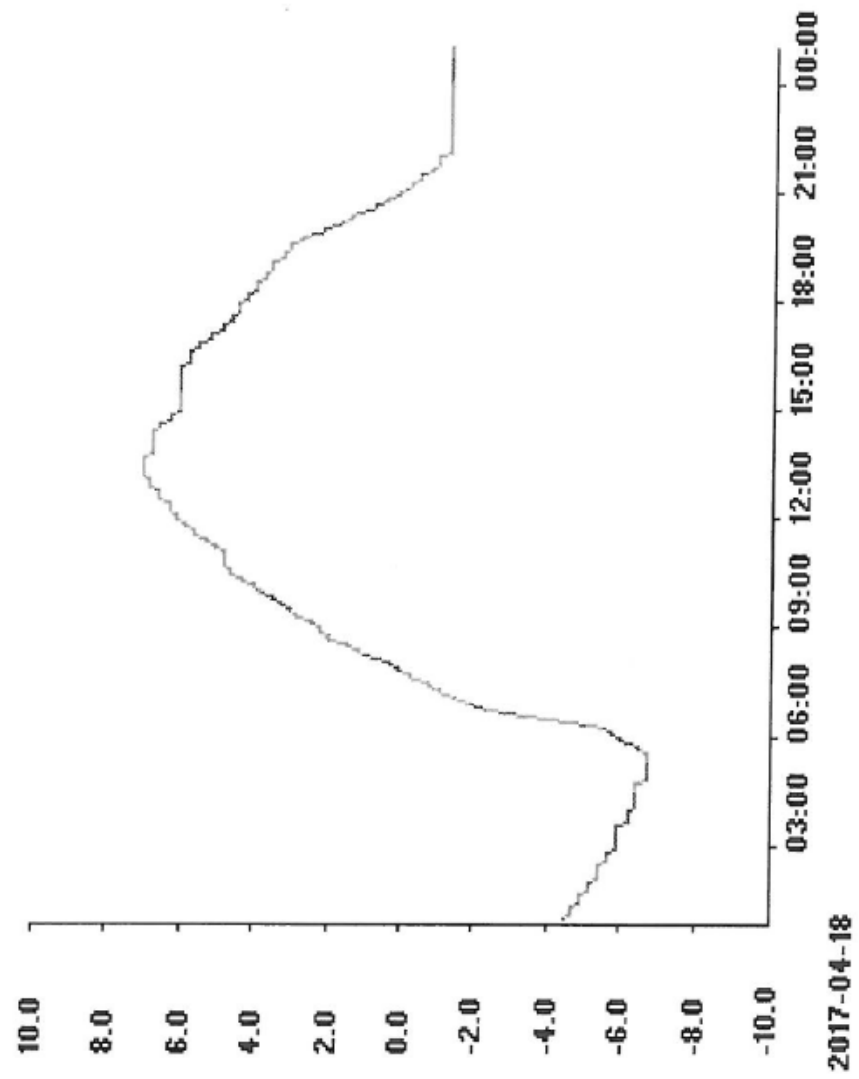
GTU (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

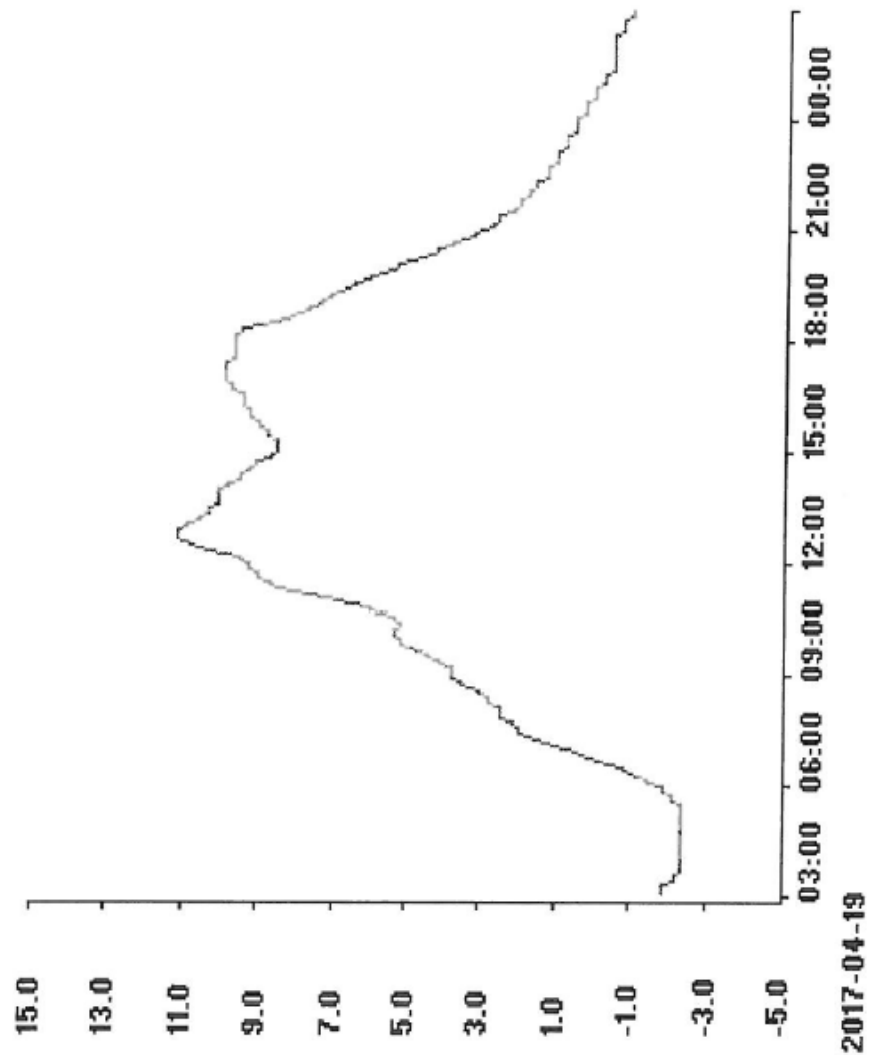
GTU (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

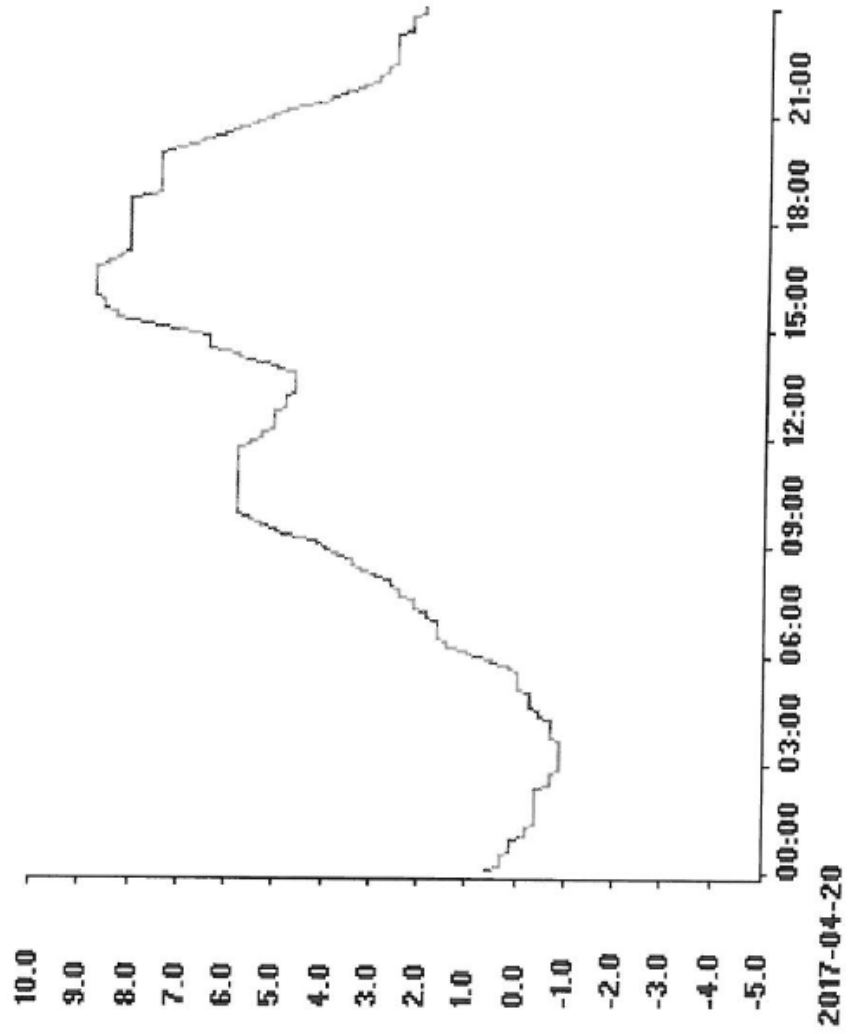
GTU (°C)



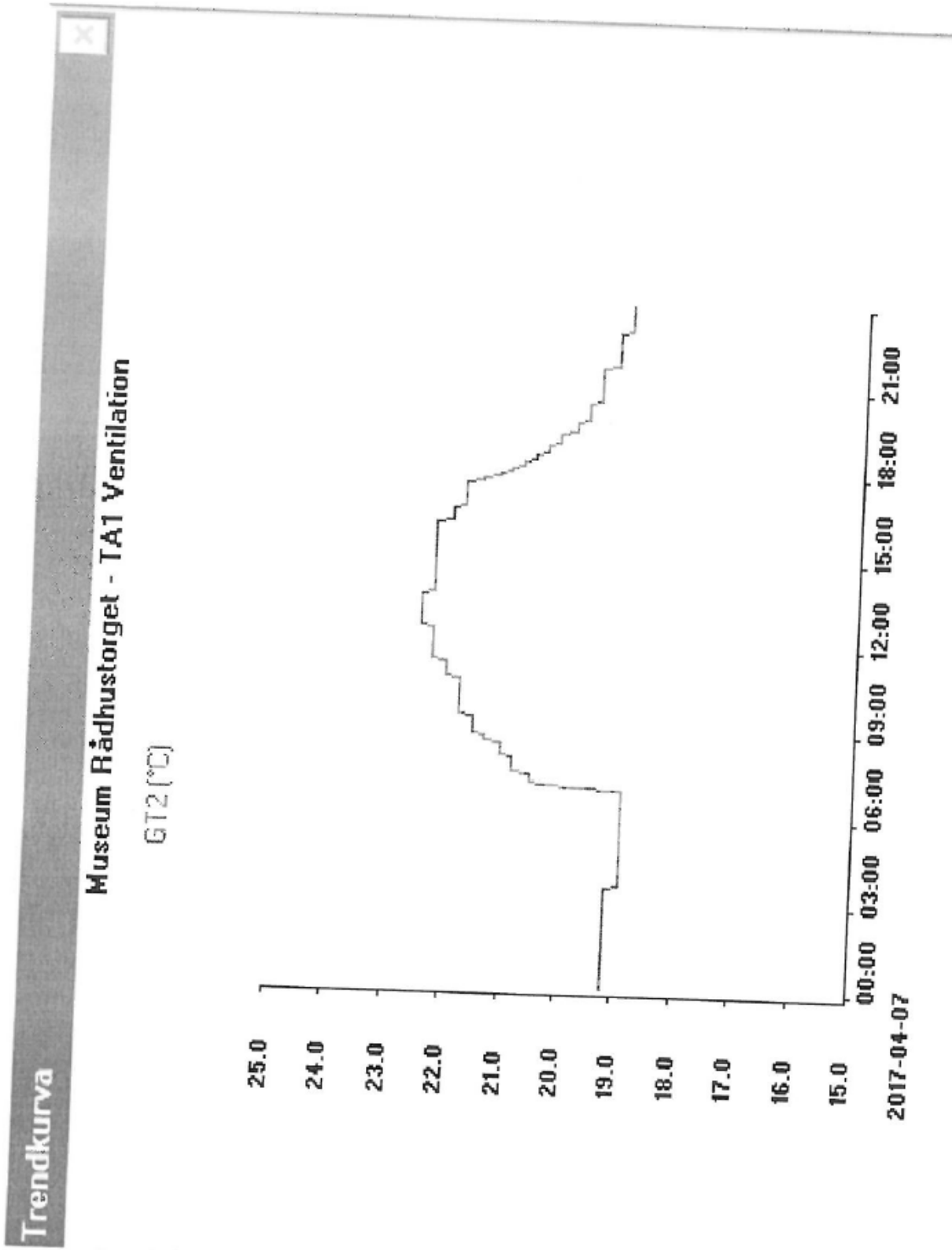
Trendkurva

Museum Rådhusstorg - TA1 Ventilation

GTU (°C)



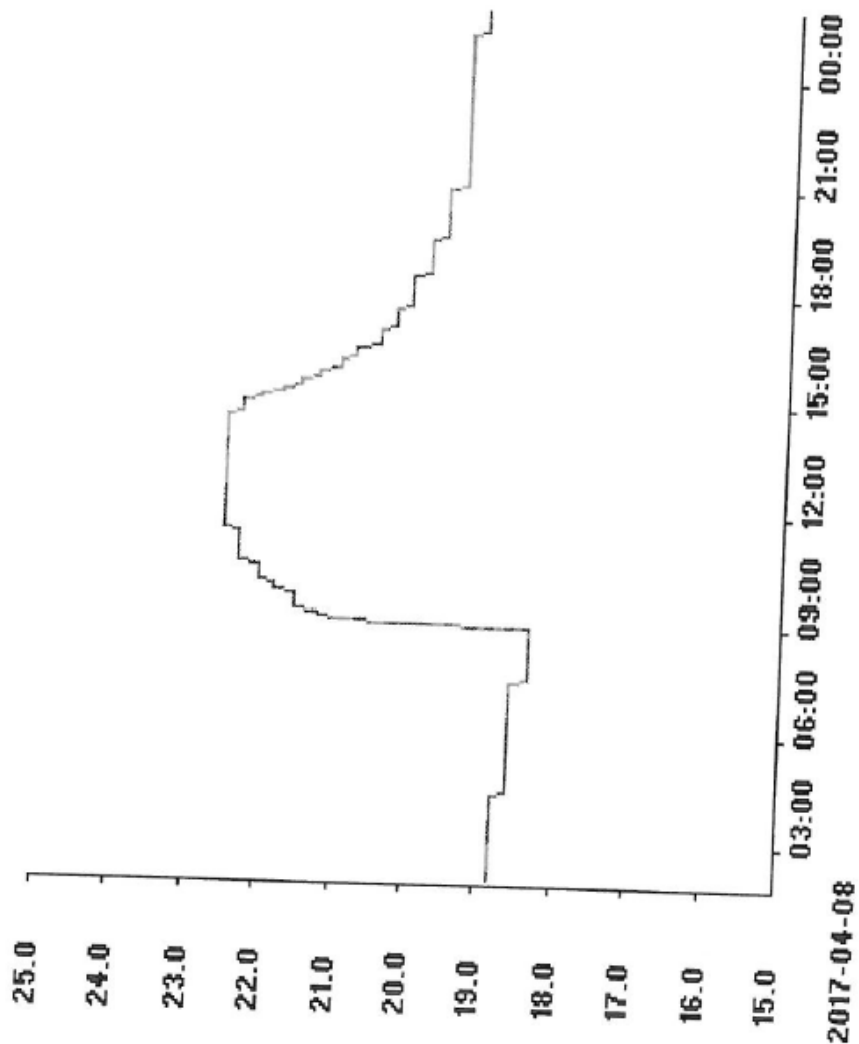
Bilaga 4 – Loggar över frånluftstemperaturer



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

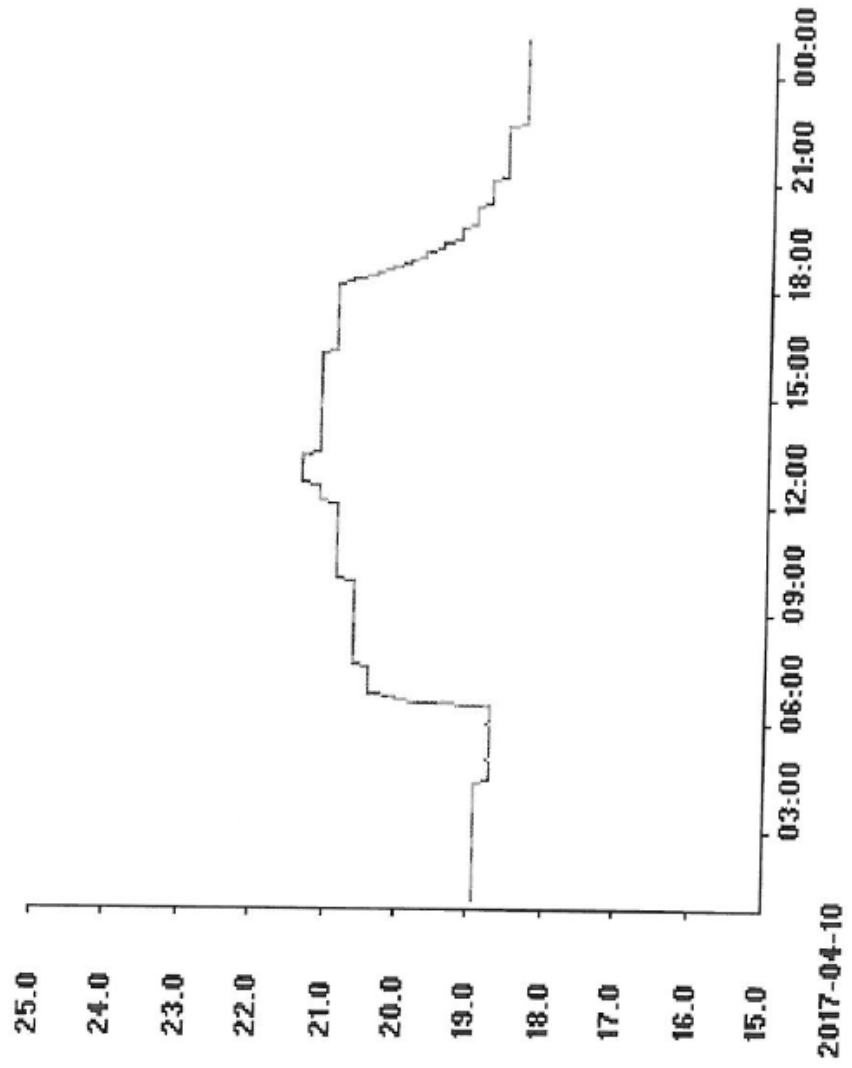
GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

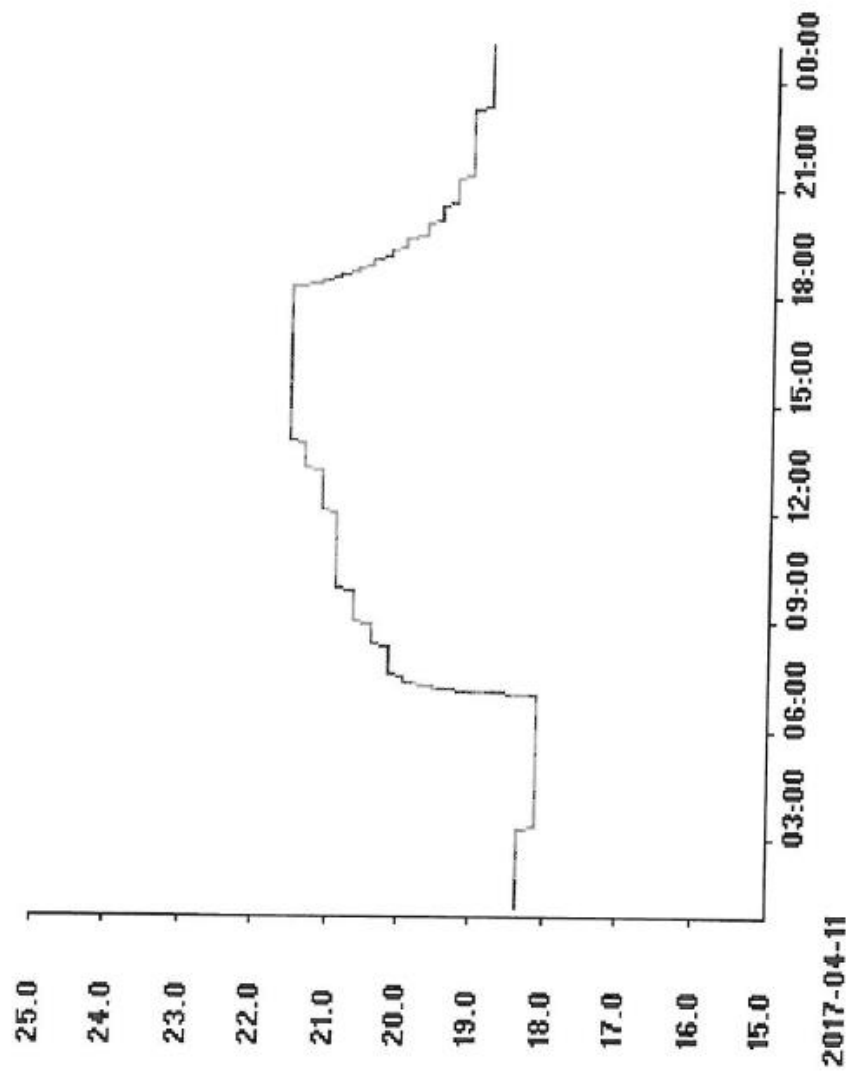
GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusstorget - TA1 Ventilation

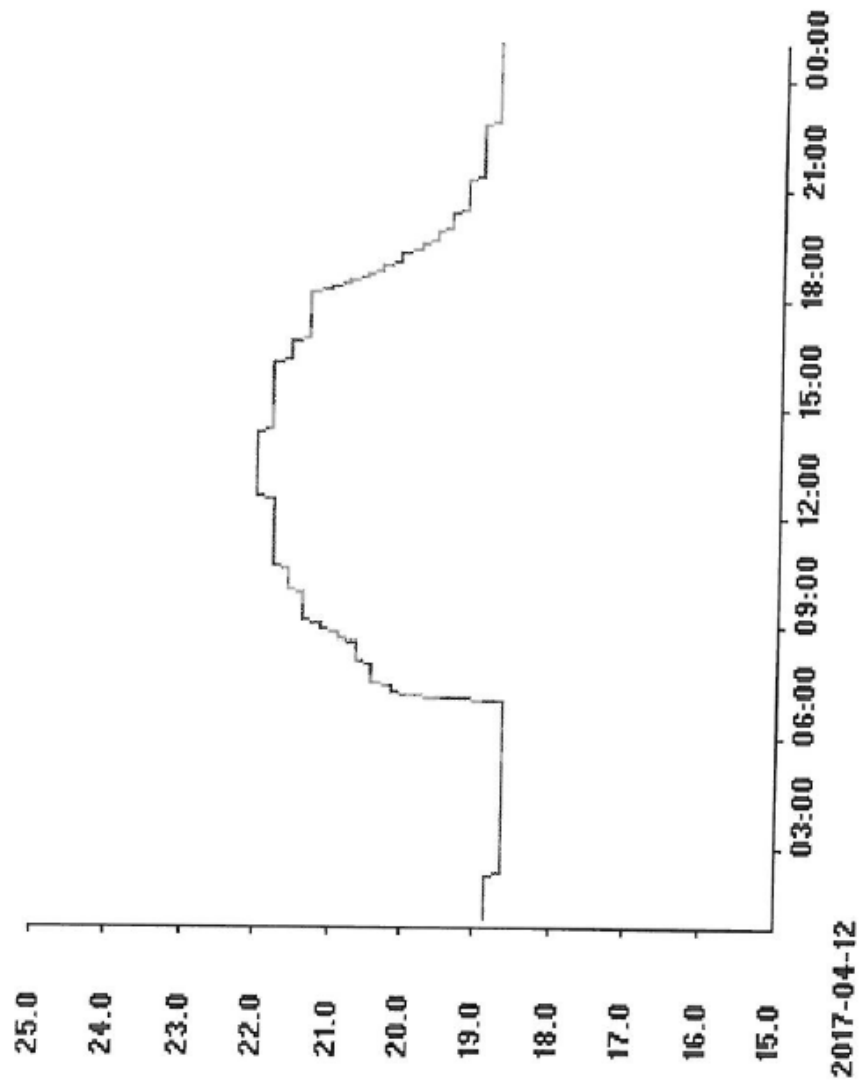
GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

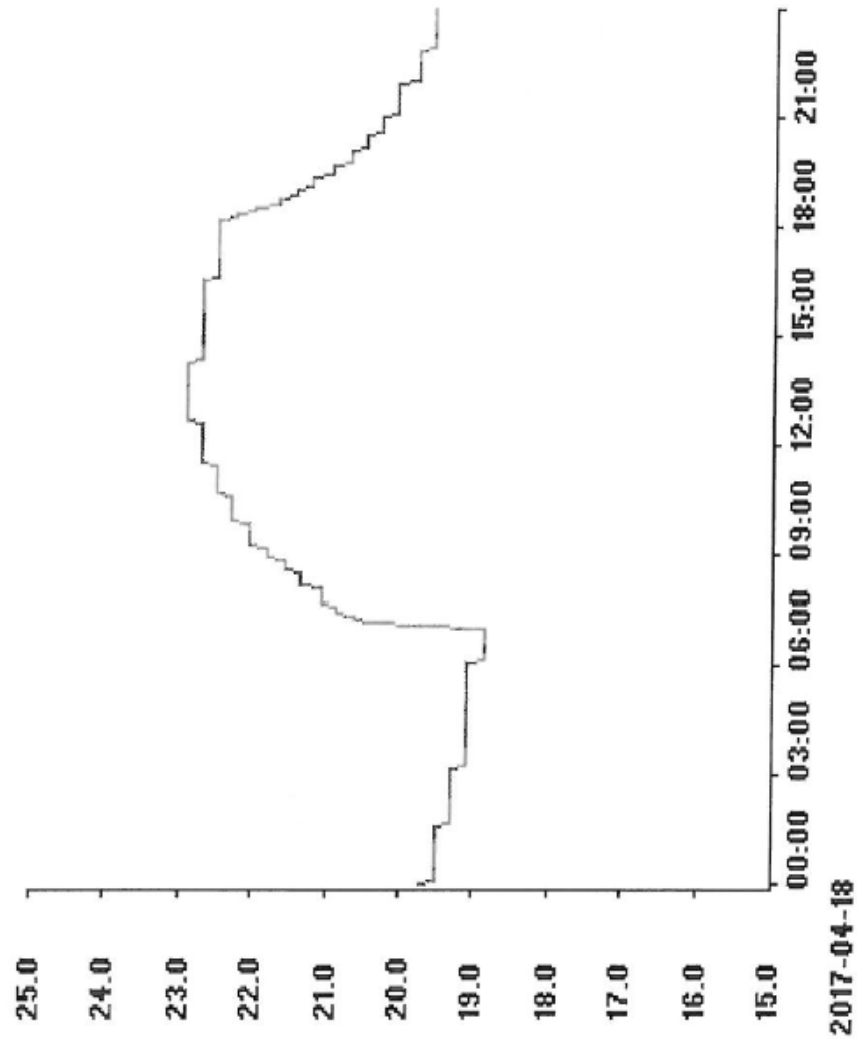
GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

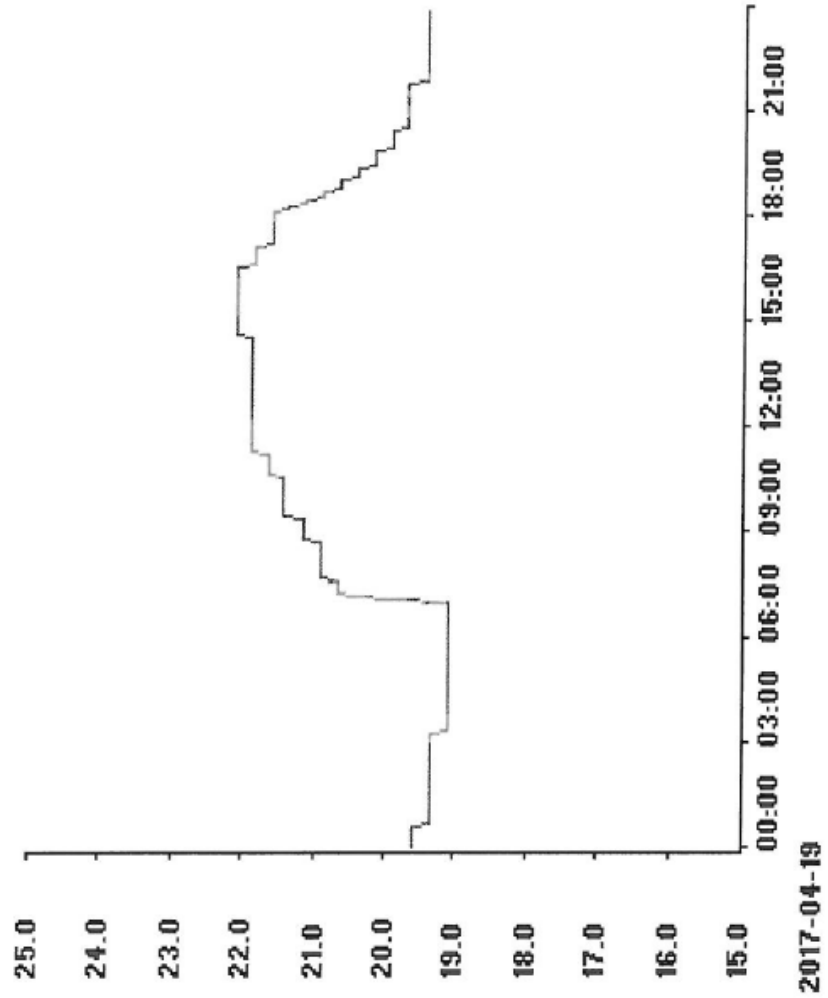
GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusetorget - TA1 Ventilation

GT2 (°C)



Trendkurva

Museum Rådhusstorg - TA1 Ventilation

GT2 (°C)

