

# Analys av energianvändning och inomhusklimat

Fallstudie av skola uppförd med passivhusteknik

Ekaterina Harming, Carl Knutsson

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2014  
Rapport TVIT--14/5047



## Lunds Universitet

Lunds Universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 112 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 800 anställda och 47 000 studerande som deltar i ett 280 utbildningsprogram och ca 2 200 fristående kurser.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Analys av energianvändning och inomhusklimat

---

Fallstudie av skola uppförd med passivhusteknik

Ekaterina Harming, Carl Knutsson

© Ekaterina Harming, Carl Knutsson  
ISRN LUTVDG/TVIT--14/5047--SE(107)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND



## Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete vid avdelningen för Installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Arbetet omfattar 30 ECTS poäng och har genomförts under vårterminen 2014.

Först och främst vill vi rikta ett tack till vår handledare Hans Bagge för hans engagemang samt de värdefulla kommentarer som erhållits under arbetets gång. Vi vill även tacka alla de anställda vid avdelningen för Installationsteknik och Byggnadsfysik som hjälpt oss på olika sätt under vårt arbete.

Mycket hjälp och vägledning har vi även fått från Karin Adalberth på Prime Project, som varit den viktigaste källa till information om bygghandlingar och kontaktpersoner. Tack, Karin! Utan din hjälp hade detta arbete inte varit möjligt!

Vi vill även tacka de anställda på Emiliaskolan för att det lät oss komma på upprepade platsbesök, vilket var ovärderligt för att skaffa sig en uppfattning hur installationssystemen var uppbyggda. Tack till rektor Lena Johnsson samt driftspersonal Christer Jönsson och Ulf Alexandersson.

Slutligen vill Ekaterina tacka sin familj, Jakob, Gustav och Jens för deras tålamod och stöd.

Carl vill tacka Julia, sin familj och sina vänner. Utan er hade han aldrig kommit så här långt.

Lund, juni 2014

Ekaterina Harming och Carl Knutsson



### Abstract

The importance of making accurate assumptions during the design phase regarding building performance has been emphasised in several studies over the past few years. In these studies it was pointed out that better input data and reference data are needed in order to perform more precise prediction of building performance. Improving of energy efficiency of buildings should not however happen at the expense of indoor climate.

The purpose of this master thesis is to analyze energy performance and thermal indoor climate of a Passive House building. Several parameters that influence the energy need and the indoor climate have been studied. In order to be able to do this some new methods have also been developed. This is done by studying time-resolved measurements collected by the existing measurement system in the building. The methods should also provide better insights into building's behaviour concerning energy use and indoor environment in relation to weather impact. Furthermore, this study should provide new reference data that can be used for energy calculations of schools and commercial buildings built with The Passive House technology. The methods are applied to a school Emiliaskolan in Landskrona, Sweden.

The methods are based on analysis of measurements that have been collected automatically. Additional information about weather conditions, construction documents and assumptions regarding energy calculations has been used. A number of temperature measurements have been carried out. The methods have been developed to study six energy use and indoor climate related parameters: indoor air temperature, ventilation flow, occupancy level, efficiency of the heat exchanger, average U-value of the building envelope and temperature of domestic hot water. The specific energy use is both studied directly through the measured energy consumption and through the study of the impact of the six above mentioned parameters.

The study has shown that the measured energy use is lower than predicted in case of Emiliaskolan. This difference can be partly explained by deviations between assumed and measured values of such parameters as indoor temperature, ventilation flow and occupancy level. It has been observed that energy use is less during sunny days than during cloudy days and that the building's solar shading system is efficient. The results of the analysis indicate that the building performance is unaffected by windy weather. It has been also observed that the building's thermal climate is not always entirely satisfactory due to short-term high and low air temperatures. The measurements of indoor temperature indicate that temperatures in two rooms during the cold period of the year just shortly reached recommended value for sensitive groups. The ventilation flow fullfills hygienic requirements and the heat recovery functions well.

The methods that have been developed enable to make some conclusions about the building energy performance and indoor climate. The study has also shown that time-resolved measurements can be used to describe the building's behaviour concerning energy use and indoor environment in relation to weather. The values regarding Emiliaskolan's energy use, power signature, balance temperature, occupancy level and ventilation flow that can be found in this thesis can be used as a reference for similar projects in the future.

Keywords: energy use, occupancy level, heat recovery, power demand, power signature, passive house technology, thermal comfort, U-value, ventilation





### Sammanfattning

Vikten av att göra rätt antaganden under projekteringskedet av byggnaders energianvändning har under de senaste åren betonats i flera olika studier. Dessa har påpekat att bättre indata och nyckeltal behövs för att kunna utföra noggrannare prognoser för byggnaders energianvändning. Den låga energianvändningen ska dock inte ske på bekostnad av byggnadens inneklimat.

Huvudsyftet med denna rapport är att analysera energianvändning och termiskt klimat hos en byggnad uppförd med passivhusteknik. Flera parametrar som påverkar energianvändningen och inneklimatet ska studeras genom olika metoder. Vissa metoder är kända sedan tidigare medan andra utvecklas under projektet. Metoderna syftar till att utnyttja den tidsupplöst mätdata som samlas in av det befintliga mätsystemet. Metoderna ska även ge underlag för att studera väderlekens inverkan på byggnadens energianvändning och inomhusklimat. Syftet är även att kunna presentera nya referensvärden som kan användas för energiberäkningar av främst skolor och lokaler uppförda med passivhusteknik. Metoder och analyser appliceras på Emiliaskolan i Landskrona.

Metoder baseras på analys av mätdata som samlats in automatiskt av en datoriserad undercentral. Dessa mätdata har även kompletterats med information ifrån SMHI, bygghandlingar, energiberäkningar och resultatet av en lufttemperaturmätning. Sex parametrar som påverkar byggnadens specifika energianvändning har studerats: lufttemperatur inomhus, ventilationsflöde, personnärvaro, temperaturverkningsgrad hos värmeväxlare, klimatskärmens genomsnittliga U-värde och tappvarmvattens temperatur. Utöver dessa parametrar har även byggnadens specifika energianvändning studeras direkt genom normalårskorrigerad av uppmätt energianvändning.

Med hjälp av de erhållna resultaten har det konstaterats att den uppmätta energianvändningen är lägre än den projekterade för det undersökta fallet. Denna skillnad kan delvis förklaras som avvikelser mellan antaganden och verkligt utfall rörande inomhustemperatur, ventilationsflöde och personnärvaro. De genomförda analyserna indikerar att mindre energi används under soliga dagar än under molniga dagar samt att byggnaden har ett effektivt solavskärmningssystem. Analyserna tyder även på att byggnadens energianvändning är oberoende av blåsig väder. Mätningar av lufttemperatur inomhus pekar på att byggnadens termiska klimat inte alltid är helt tillfredställande, p.g.a. kortvariga höga eller låga lufttemperaturer. I två studerade rum finns mätningar som indikerar att rekommenderade lufttemperaturer för känsliga personer bara uppnås stundtals under den kalla delen av året. Ventilationsflödet är godkänt utifrån hygieniska kravet och värmeåtervinningen fungerar på ett tillfredställande sätt.

Studien har visat att de framtagna metoderna kan ge underlag för att kunna dra vissa slutsatser kring byggnadens energianvändning och inomhusklimat. Studien har även visat att tidsupplöst data ifrån ett befintligt mätsystem kan användas för att beskriva hur en byggnad fungerar energimässigt och värmetekniskt. I rapporten framtagna värdena för energianvändning, effektsignatur, balanstemperatur, personnärvaro och ventilation kan användas som referens för liknande projekt i framtiden.

Nyckelord: energianvändning, effektbehov, effektsignatur, passivhus, personnärvaro, termisk komfort, temperaturverkningsgrad, U-värde, ventilation



## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	2
1.1.1	Energibalans i lågenergihus.....	2
1.1.2	FEBY .....	4
1.1.3	Energiberäkningsprogram .....	5
1.1.4	Ventilationen .....	5
1.1.5	Luftburet värmesystem .....	6
1.1.6	Termiskt klimat.....	6
1.1.7	Myndigheternas krav och riktlinjer gällande inomhusmiljön .....	6
1.2	Syfte.....	8
2	Metod.....	9
2.1	Huvudmetod.....	9
2.1.1	Klimatdata .....	10
2.1.2	Definition av soliga/molniga samt vindstilla/blåsig dagar.....	11
2.1.3	Avgränsningar.....	11
2.1.4	Objektsbeskrivning – Emiliaskolan .....	12
2.1.5	Sammanställning över studerade tidsperioder .....	20
2.2	Utvärdering av byggnadens specifika energianvändning.....	22
2.2.1	Uppmätt energianvändning .....	22
2.2.2	Utomhusklimatets påverkan på effektbehovet .....	23
2.3	Undersökning av lufttemperatur inomhus.....	24
2.3.1	Lufttemperatur i några utvalda rum med avseende på orientering och våningsplan ..	24
2.3.2	Lufttemperatur med avseende på väderlek.....	26
2.3.3	Mätningar av temperaturgradienten i två rum.....	26
2.3.4	Jämförande mätning mot integrerad temperaturgivare.....	28
2.4	Undersökning av ventilation .....	28
2.4.1	Undersökning av ventilationsflöde.....	28
2.4.2	Beräkning av personnärvaro med hjälp av koldioxidmätningar .....	29
2.4.3	Beräkning av temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat.....	30
2.5	Beräkning av ett genomsnittligt U-värde .....	33
2.6	Undersökning av tappvarmvattens temperatur .....	34

## Innehållsförteckning

---

3	Resultat och analys.....	35
3.1	Byggnadens specifika energianvändning .....	35
3.1.1	Uppmätt energianvändning .....	35
3.1.2	Utomhusklimatets påverkan på effektbehovet .....	39
3.2	Lufttemperatur inomhus.....	43
3.2.1	Lufttemperatur i några utvalda rum med avseende på orientering .....	43
3.2.2	Sammanfattad analys av orienteringens betydelse för lufttemperaturen .....	56
3.2.3	Lufttemperatur med avseende på väderlek.....	57
3.2.4	Uppmätt temperaturgradienten i två rum.....	60
3.2.5	Jämförande mätning mot integrerad temperaturgivare.....	62
3.3	Ventilationsflöde .....	64
3.4	Personnärvaro .....	67
3.4.1	Beräknade max, min och medelvärden.....	67
3.4.2	Variation över tid.....	68
3.5	Temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat.....	71
3.6	Klimatskärmens genomsnittliga U-värde .....	77
3.7	Undersökning av tappvarmvattens temperatur .....	78
3.7.1	Energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten .....	79
3.8	Analys av ingående parametrar med avseende på energianvändning .....	80
3.8.1	Inomhustemperatur .....	80
3.8.2	Ventilationsflödet.....	81
3.8.3	Personnärvaro .....	82
3.8.4	Temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat.....	84
3.8.5	Klimatskärmens genomsnittliga U-värde .....	84
3.8.6	Tappvarmvatten .....	84
4	Diskussion och slutsatser .....	87
	Litteraturförteckning .....	93

### Bilagor:

Bilaga 1- Produktbeskrivning av TTC-Aktivt taktilluftsdon

Bilaga 2- Närvaroprofil för Emiliaskolan

Bilaga 3- Kalibrering av temperaturgivare

Bilaga 4- Intervju med rektor Lena Johnsson

## Beteckningar

$A_{om}$	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft (m <sup>2</sup> )
$A_{temp}$	Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida (m <sup>2</sup> )
$C_{in}$	Koldioxidhalten i frånluft (ppm)
$C_{out}$	Koldioxidhalten i tilluft/uteluft (ppm)
$c_p$	Koldioxidproduktionen per person (l/s)
$C_p$	Koldioxidproduktion (l/s)
$c_{p,luft}$	Specifik värmekapacitet för luft (J/(kg·°C) )
$n$	Antal personer (st)
$q$	Luftflöde (l/s)
$q_{till}$	Tilluftsföde (m <sup>3</sup> /s)
$q_{från}$	Frånluftsföde (m <sup>3</sup> /s)
$T_{av}$	Avluftstemperatur (°C)
$T_{balans}$	Balanstemperatur (°C)
$T_{från}$	Frånluftstemperatur (°C)
$T_{till}$	Tilluftstemperatur (°C)
$T_{ute}$	Utetemperatur (°C)
$U_{medel}$	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor beräknad enligt (W/(m <sup>2</sup> ·K) ):
	$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \Psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j)}{A_{om}}$
$v_{från}$	Verkningsgrad med avseende på frånluft (-)
$v_{till}$	Verkningsgrad med avseende på tilluft (-)
$W_{korrigerad}$	Korrigerat effektbehov (W)
$W_{medel}$	Medeleffektbehov (W)

$\rho_{luft}$  Luftens densitet ( $\text{kg/m}^3$ )

### Definitioner

BBR	Boverkets regelsamling för byggande i Sverige.
FEBY	Forum för Energieffektiva Byggnader. Utarbetar kravspecifikationer för nollenergihus, passivhus och minienergihus i Sverige.
SVEBY	Sveby står för "Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader" och är ett branschöverskridande program som tar fram hjälpmedel för överenskommelser om energianvändning.
DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
ppm	Parts per million, 0,0001%
U-värde	Värmeegenomgångskoefficient för en byggdel. Jämförelsetal för olika byggdelars värmeledningsförmåga, från inneluft till uteluft ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )
Uteluft	Luft som tas in till byggnaden via en öppning försedd med galler. Ibland kallas friskluft.
Tilluft	Uteluft som behandlats i luftbehandlingsaggregat och sedan fördelas ut i byggnadens olika rum via tilluftskanaler och tilluftsdon.
Frånluft	Förorenad luft som sugts ut ifrån byggnadens olika rum via frånluftsdon och frånluftskanaler.
Överluft	Luft som strömmar ifrån en del av byggnaden till en annan. Kan ske genom dörrar och öppningar, eller via avsedda överluftsdon.
Avluft	Förorenad luft som passerat luftbehandlingsaggregatet och lämnar byggnaden via avluftshuv.
Vistelsezon	Ett rum avdelat med två horisontella plan, ett på 0,1 meter höjd över golv och ett annat på 2,0 meter höjd över golv, samt vertikala plan 0,6 meter från yttervägg eller innan yttre begränsning, dock vid fönster och dörr 1,0 meter.
Byggnadens specifika energianvändning	Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi, fördelat på $A_{temp}$ uttryckt i $\text{kWh}/\text{m}^2$ och år. Hushållsenergi inräknas inte. Inte heller verksamhetsenergi som används utöver byggnadens grundläggande verksamhetsanpassade krav på värme, varmvatten och ventilation.

Fastighetsel	Den del av fastighetselen som är relaterad till byggnadens behov där den elanvändande apparaten finns inom, under eller anbringad på utsidan av byggnaden. I denna ingår fast belysning i allmänna utrymmen och driftsutrymmen. Dessutom ingår energi som används i värmekablar, pumpar, fläktar, motorer, styr- och övervakningsutrustning och dylikt.
Balanstemperatur	Den utetemperatur vid vilken värmeförlusten ut från rummet är lika stor som den interna värmealstringen (°C)
Operativ temperatur	Den operativa temperaturen definieras vid låga lufthastigheter som medelvärdet av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur ifrån alla avgränsande ytor.
VAV	Variable Air Volume flow. Benämning på ventilationssystem där luftflödet regleras utifrån gällande ventilationsbehov.
CAV	Constant Air Volume flow. Benämning på ventilationssystem där luftflödet konstant är dimensionerat för maximalt ventilationsbehov.
DUC	Datoriserad undercentral. Denna styr allt som påverkar inomhusklimatet, såsom ventilation, uppvärmning, kylning och belysning.
Brukare	De personer som vistas i en byggnad eller ett rum.
Lokaler	Byggnad avsett för annat ändamål än bostad. Till exempel kontor eller skola.
Temperatur- verkningsgrad	Ett mått på värmeväxlarens effektivitet definierat av förhållandet mellan utnyttjad temperaturskillnad och maximalt tillgänglig temperaturskillnad.
Termiskt klimat	Det termiska klimatet definieras av parametrar som påverkar den mänskliga kroppens värmebalans.
Normalårskorrigerigering	Korrigerigering av byggnadens uppmätta klimatberoende energianvändning utifrån skillnaden mellan klimatet på orten under ett normalår och det verkliga klimatet under den period då byggnadens energianvändning verifieras.
SMHI	Statens Metereologiska och Hydrologiska Institut.
Styrfunktion	Program som anger hur en installationsteknisk funktion skall regleras med avseende på givna parametrar.
Återluft	Innebär att frånluften återanvänds som tilluft utan behandling.





## 1 Inledning

Under de senaste åren har det både nationellt och internationellt diskuterats åtgärder och olika handlingsplaner för att minska energianvändningen. Europeiska unionen har enats om 20-20-20 målsättningen, vilket innebär att fram till år 2020 ska utsläppen av växthusgaser samt unionens totala energianvändning minska med 20% jämfört med 1990. Användning av energi från förnybara energikällor ska däremot öka med 20% jämfört med samma år (Europaparlamentet, 2010).

I Sverige står bostads- och servicesektorn år 2013 för 38% av landets sammanlagda energianvändning. Nästan 60% av denna energi används för uppvärmning och tappvarmvatten (Energimyndigheten, 2013). Uppvärmning av byggnaden och tappvarmvatten utgör också ca 90% av byggnads energibehov, sett under dess totala livstid (Bokalders & Block, 2009). Det är därför av stor betydelse att lägga tydligt fokus på reducering av energianvändningen i byggnader under brukskedet.

En möjlig lösning för att minska energianvändningen inom byggsektorn är att utnyttja passivhusteknik. Ett passivhus är en byggnad som är så välisolerad att det inte finns något behov för ett konventionellt värmesystem. Konceptet bygger på minimering av transmissionsförluster genom klimatskärmen vilket uppnås genom byggnadens kompakta utformning, dess gynnsamma väderstreckorientering samt dess mycket höga grad av värmeisolering och lufttätethet. Värmebehovet tillgodoses via värmeavgivning från brukare, elektronisk utrustning och instrålning sol. Ett till- och frånluftsystem med värmeväxlare med en hög temperaturverkningsgrad är en viktig komponent i ett passivhus då det återvinner värme som annars ventileras ut. Det värmebehov som finns kan till exempel täckas via tilluften som värms av ett värmebatteri. Behovet av kyla under den varma delen av året minimeras via utvändigt solavskärmning och möjlighet för vädring. Passivhuskonceptet kan appliceras både på renoveringar och vid nyproduktion och på olika typer av byggnader såsom bostäder, skolor och kontor (Andrén & Tirén, 2012).

Den låga energianvändningen ska dock inte äventyra byggnadens inneklimat. Ett sunt inomhusklimat kännetecknas av en bra termisk komfort, god luft-, ljud- och ljuskvalitet (Bokalders & Block, 2009). Den termiska komforten har en direkt koppling till byggnadens värmebehov medan luftkvaliteten bland annat påverkas av luftflödets storlek. Det betyder att byggnadens energianvändning beror av det inneklimat som råder i byggnaden och vice versa.

Att bygga ett energieffektivt hus är ett komplext projekt och kräver tätt samarbete mellan alla aktörerna i byggprocessen. Kunskapsnivån och yrkesskicklighet hos alla involverade parter, från arkitekter och projektörer till yrkesarbetare och driftpersonal bör vara hög för att säkerställa att byggnaden fungerar tillfredställande (Bagge, 2011).

Olika studier som ägnat sig åt utvärdering av skillnader hos byggnaders projekterade och uppmätta energianvändning har visat att dessa värden sällan stämmer överens. Det förekommer mycket ofta att det beräknade värdet för energianvändning överskrids.

I en studie utförd av Karlsson (2007) utvärderades energianvändning hos passivhus i Lindås byggda år 2001. Undersökningen visade att det projekterade värdet för energianvändningen överskreds med ca 50%. Främst berodde det på högre inomhustemperatur och lägre temperaturverkningsgrad på värmeväxlare jämfört med de antagna värdena. I undersökningen påpekats vikten av de antaganden,

speciellt när det gäller värmeväxlarens temperaturverkningsrad och brukarnas beteende, som görs under projekteringskedet.

Bagge och Johansson (2009) har studerat energianvändning av nio fastigheter med 200 lägenheter totalt byggda för bomässan Bo01 i Malmö. Studien visade att skillnaden mellan uppmätt och projekterad specifik energianvändning var i storleksordning av faktor tre mellan det lägsta och det högsta värdet. Endast en utav nio fastigheter uppfyllde det uppställda energimålet. En av slutsatserna var att bättre indata och nyckeltal behövs för att kunna utföra noggrannare prognoser för byggnadens energiprestanda (Bagge& Johansson, 2009).

En av källorna till referensdata för energiberäkningar som i dagsläget finns att tillgå är SVEBY:s föreskrifter. SVEBY står för "Standardisera och Verifiera Energiprestanda i BYggnader" och drivs av bygg- och fastighetsbranschen. SVEBY-programmet innehåller flera anvisningar med bland annat brukarrelaterade indata för kontor och bostäder, vägledning till hur energimätning ska gå till och hur energiprestandaanalys ska göras (SVEBY, 2014). Även riktlinjer för uppföljning av energikrav under olika skeden av byggprocessen har utarbetats. Än så länge omfattar SVEBY:s föreskrifter endast byggnader med konventionell konstruktion, det vill säga byggnader som uppfyller BBR:s energikrav. För lågenergihus finns i dagsläget inte några speciellt anpassade referensdata.

Enligt förteckning över byggda och planerade passivhus i Sverige (Svensson, 2012) fanns året 2012 ca 2025 färdigbyggda passivhus objekt i landet. Under objekt här menas enfamiljshus, lägenhet i flerbostadshus, skola eller lokal. Utav dessa färdigställda objekt var endast 8 stycken skolor eller förskolor. Enligt samma lista skulle 10 stycken passivhus skolor/förskolor byggas under de kommande åren. Det är fortfarande bara en bråkdel av det sammanlagda antalet nya passivhusobjekten som planerats byggas vid samma tidpunkt (ca 1300 stycken). Dessa uppgifter tyder på att det i Sverige finns endast ett fåtal skolor byggda med passivhusteknik, vilket innebär att antalet referensobjekt och tillgång på referensdata är begränsat.

## 1.1 Bakgrund

### 1.1.1 Energibalans i lågenergihus

För att förstå hur byggnaden fungerar utifrån energisynpunkt studeras dess energibalans. Energibalansen beskriver de energiflöden som tillförs byggnaden och förs bort från denna så att byggnadens avsedda funktion och komfort upprätthålls. Om ingen hänsyn tas till energibalansen så leder det till flera osäkerheter vid energiberäkningen.

Energibalans råder då energitillskottet är lika med energiförlusterna, vilket kan beskrivas med hjälp av följande uttryck (Abel & Elmroth, 2006):

$$Q_t + Q_l + Q_v + Q_{tvv} + Q_{dr} + W_f + W_h = Q_{v\ddot{a}} + Q_{tillskott} + Q_{sol} + Q_{energi} \quad [\text{kWh}]$$

De energiposter som ingår i ekvationen är följande:

$Q_t$  = värmeförluster p.g.a. transmission

$Q_l$  = värmeförluster p.g.a. luftläckning genom otätheter i klimatskärmen och/eller fönstervädring

$Q_v$  = värmebehov för ventilation som krävs för uppvärmning av uteluft till innetemperatur

$Q_{tvv}$  = värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten

$Q_{dr}$  = distributions- och reglerförluster inne i byggnaden

$W_f$  = fastighetsel

$W_h$  = hushållselanvändning

$Q_{vå}$  = återvunnen värme via t.ex. ventilationsvärmeväxlare som kan tillgodoräknas byggnaden

$Q_{tillskott}$  = värmertilskott från personer, elapparater och tappvarmvatten, d.v.s. intern värmelast

$Q_{sol}$  = värmertilskott via solstrålning genom fönster som byggnaden kan tillgodoräkna

$Q_{energi}$  = energibehov vid normal och avsedd användning av huset

Nedan följer en kort beskrivning av de ovan nämnda energiflöden som utgör energiförluster och energitillskott.

*Transmissionsförluster* avser det värmeflöde som går genom byggnadens klimatskärm när utetemperaturen är lägre än innetemperaturen. Storlek på transmissionsförluster beror på temperaturskillnaden inne och ute samt hur väl byggnaden är isolerad. I välisolerade hus, som passivhus är, utgör värmeflödet genom anslutningar mellan olika konstruktionsdelar en stor andel av den totala transmissionsförlusten. Det är därför viktigt att minimera dessa köldbryggor i största möjliga utsträckningen genom välgenomtänkta lösningar vid detaljprojekteringen (Abel & Elmroth, 2006).

*Luftläckning genom otätheter och fönstervädring* ökar byggnadens energianvändning genom att extra värmeeffekt måste tillföras för att värma upp kall inläckt uteluft till rumstemperatur. Okontrollerat luftläckage kan även medföra drag som brukar kompenseras med högre rumstemperaturer vilket i sin tur leder till ökat värmebehov. För byggnader med balanserad ventilation är klimatskärmens lufttäthet viktig eftersom det avgör huruvida ventilationssystemet och värmeåtervinningen kan utnyttjas effektivt (Abel & Elmroth, 2006).

*Värmebehov för ventilation* utgörs av värmebehovet för att värma upp uteluften till rumstemperatur. Hur stort värmebehovet är beror av luftflödet och rummets respektive uteluftens temperatur. Ventilationsförlusterna utgör ungefär lika stor del av energiförlusterna som transmissionsförlusten för bostäder. Lokaler, som skolor, har oftast högre ventilationsflöden än bostäder varför ventilationen kan utgöra den största delen av värmebehovet. Det är därför viktigt ur energisynpunkt att dimensionera och injustera ventilationsanläggningen så att rätt luftflöden erhålls. Värmeåtervinning hos ventilationssystemet minskar energiförlusterna samt effektbehovet (Abel & Elmroth, 2006).

*Värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten* beror först och främst på verksamheten i byggnaden och dess tappvarmvattenbehov. Behovet kan minskas genom att använda vattenbesparande armaturer och hushållningsmaskiner (Abel & Elmroth, 2006).

*Distributionsförluster* omfattar energiförluster i form av friktion och värmeförluster i distributionsledningar för tappvarmvatten och värme. Korta och välisolerade distributionsledningar reducerar distributionsförlusterna avsevärt. Under viss tid kan dock dessa förluster tillgodoräknas byggnaden då energibehovet är stort och dessa förluster kan suppleras värmesystemet. I andra fall kan distributionsförluster medföra ökad värmelast inomhus som måste föras bort, med ökad energianvändning som följd. Med *reglerförluster* avses de energiförluster som orsakas på grund av skillnaden i önskade och verkliga temperaturer. Dessa skillnader uppstår om värme- eller ventilationssystemet inte är injusterat eller utformat på ett optimalt sätt. I lågenergihus vars

energibehov är lågt utgör distributions- och regler förluster en väsentlig andel i byggnadens energibalans och bör därför beaktas (Abel & Elmroth, 2006).

I *fastighetsel* ingår all den el som behövs för att driva byggnadens olika installationer. Fastighetsel omfattar bland annat el till fast belysning placerad på insidan och utsidan av byggnaden, el för pumpar, fläktar och hissar, styr- och övervakningsutrustning (Abel & Elmroth, 2006).

*Hushållselanvändning* är inte bara en brukarrelaterad energipost utan beror också på effektivitet av installerade belysningsarmaturer, vitvaror och elapparater. Byggnadens utformning kan även bidra till minskning av elbehovet, exempelvis genom optimalt utnyttjande av dagsljus (Bokalders & Block, 2009).

Värme som förs bort från byggnaden kan återvinnas och tillgodogöras på flera olika sätt. Värmeväxlare och värmepumpar kan installeras för att *återvinna värme* från ventilationsluften och avlopp. Återvunnen värme kan sedan användas till uppvärmning av tilluften, tappvarmvatten eller till uppvärmning av huset via vattenburet värmesystem (Abel & Elmroth, 2006).

*Värmetillskott från personer, elapparater* kan både bidra till minskning av energianvändning genom att det täcker en del av byggnadens värmebehov men kan också det leda till ökad energiåtgång på grund av övertemperaturer. Samma resonemang gäller inkommande *solstrålning* vars energi kan utnyttjas till att minska installerat effektbehov. Fönsters orientering, byggnadens planlösning samt lösningar för solavskärmning är bland de viktigaste faktorer som avgör om solvärme kommer bidra positivt eller negativt till byggnads energianvändning. I lågenergihus ger stora södervända fönster inte mycket nytta utan snarare medför risk för övertemperaturer. Det är därför viktigt med en effektiv solavskärmning i denna typ av hus (Abel & Elmroth, 2006).

I konventionella byggnader står transmissions- och ventilationsförluster för den största delen av byggnadens totala värmebehov och därmed energianvändning. I välisolerade och lufttäta lågenergihus minskas dessa typer av energiförluster avsevärd. Detta innebär att de andra energiposterna såsom värmetillskott av intern värmelast och solinstrålning har en mycket stor inverkan på lågenergihusets energibalans (Abel & Elmroth, 2006).

Byggnadens *energibehov* avser den energi som måste tillföras byggnaden för att kompensera skillnaden mellan dess energitillskott och energiförluster. Den mängd energi som används för byggnadens uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsel utgör byggnadens specifika energianvändning, så kallad köpt energi (BBR, 2012).

### 1.1.2 FEBY

För att kunna kalla en byggnad för passiv hus måste denna uppfylla flera olika krav både med avseende på energiprestanda och inomhusklimat. Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY) har stått för utveckling av de svenska kriterierna för passivhus som har sitt ursprung i tyska passivhuskrav (FEBY, 2008). År 2008 gällde enligt FEBY följande passivhuskrav för bostäder i Klimatzon 1.

- Maximal angiven effekt för uppvärmning:  $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Maximal specifik energianvändning:  $45 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Klimatskärmens lufttäthet: högst  $0,3 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  vid  $50 \text{ Pa}$  tryckskillnad
- Fönsters U-värde: högst  $0,9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- Ventilationssystemet i sovrum: ljudklass B

- Tilluftstemperatur vid luftburen värme: högst 52°C

Kraven har sedan år 2008 uppdaterats och i dagsläget gäller FEBY12. Objektet som ligger till grund för fallstudien i denna rapport har projekterats enligt FEBY 2008.

### 1.1.3 Energiberäkningsprogram

Idag finns det flera verktyg att tillgå för beräkning av byggnadens energiprestanda. *IDA Indoor Climate and Energy*, vanligen benämnt *IDA ICE* eller bara *IDA*, är ett av dem. Det är ett flerzonsprogram som kännetecknas av att värme- och masstransport kan beräknas mellan flera zoner. Programmet används till simulering av byggnadens effekt- och energibehov. Dock också finns andra användningsmöjligheter som dagsljusberäkningar och inneklimateksimuleringar (Bergsten, 2001). Många olika parametrar som till exempel byggnadens geometri, solavskärmning, typ av luftbehandlingssystem, värmelagring i stommen och interna värmelaster kan tas hänsyn till i programmet (IDA, 2014).

### 1.1.4 Ventilationen

Ventilationens främsta uppgift är att tillföra ett rum ren och frisk luft, samtidigt som av rummet förorenad luft förs bort. Ventilationen kan också verka för att kyla ner eller värma upp olika rum i en byggnad. Kapaciteten för ventilationssystem brukar anges som luftflödet, angett i l/s, m<sup>3</sup>/h. Kapaciteten kan också anges som specifikt luftflöde eller omsättning, angett i 1/h. Omsättning innebär hur stor del av rumsluften som byts ut per timme (Abel & Elmroth, 2006).

Idag är nya lokaler generellt utformade med balanserade ventilationssystem med till- och frånluft, vilket också ger möjlighet för värmeåtervinning (Abel & Elmroth, 2006). Detta sker med hjälp av värmeåtervinningsaggregat i form av exempelvis en roterande värmeväxlare. Den består av ett rotorhjul med många små axiella kanaler vilka utgör en stor yta. Ytan kommer i beröring med både uteluft och frånluft och på så sätt växelvis värms upp och kyls ner av respektive från- och uteluftsflöden. Temperaturverkningsgraden kan ändras genom att ändra rotorns hastighet eller tiden mellan växlingar (Jensen, 2007). En roterande värmeväxlare kan även utformas så att denna återvinner fukt (Abel & Elmroth, 2006).

Enligt Svenska Miljöinstitutet kan en roterande värmeväxlare leda till försämrad luftkvalitet om smutsig frånluften läcker över i tilluften (Fjällström, Bloom, & m.fl, 2014).

En tidigare lösning för att minska energiförlusterna i ventilationen är att använda återluftförling. I Sverige var denna lösning vanlig fram till slutet av 70-talet. Tilluften bestod då av uteluft blandad med filtrerad återluft. På grund av negativa erfarenheter med filterhantering och den generella uppfattningen av att återluft är ohygienisk är detta värmeåtervinningsystem idag mindre förekommande i Sverige (Abel & Elmroth, 2006). Istället används värmeväxling för att uppnå samma funktion.

För att minska upplevda besvär som kan bero på ventilationssystemet rekommenderar Svenska Miljöinstitutet att välja ett system med värmeåtervinning utan användning av återluft. Detta är eftersom återluftförling kan leda till dålig luftkvalitet, då föroreningarna i frånluften förs tillbaka till lokalerna istället för att ventileras bort (Fjällström, Bloom, & m.fl, 2014).

### 1.1.5 Luftburet värmesystem

Ett luftburet värmesystem utnyttjar ventilationssystemets distributionsnät till att transportera den uppvärmda tilluften till respektive rum som ska värmas (Warfvinge, 2003). Om övertempererad tilluft tillförs via tilluftsdon vid tak kan en risk för försämrade ventilationsfunktion föreligga. Detta är eftersom varm tilluft kan samlas vid taket utan att omblandningen med övrig rumsluft sker. Är frånluftsdonet placerat i närheten av tilluftsdonet kan kortslutning mellan till- och frånluftsfloden ske, vilket innebär att rummets nedre delar riskerar att inte bli genomventilerade (Abel & Elmroth, 2006).

### 1.1.6 Termiskt klimat

Det termiska klimatet definieras av faktorer som påverkar den mänskliga kroppens värmeutbyte med omgivningen. I en byggnad har det termiska klimatet stor betydelse för människans upplevda komfort. Beaktat att den moderna människan spenderar mer än 90% av sin tid inomhus, innebär det att avvikelser ifrån det ideala klimatet kan få konsekvenser för bl.a. produktiviteten (Fanger, 1997).

Personens aktivitetsnivå, det vill säga hur mycket individen rör på sig i rummet samt hennes klädsel påverkar personens upplevelse av det termiska inneklimatet. Denna upplevelse påverkas även av flera omgivningsberoende parametrar. En av dessa parametrar är *lufttemperatur* vilken ofta används som ett mätbart och enkelt mått på det termiska klimatet (Abel & Elmroth, 2006). Ett annat begrepp som ofta förekommer i samband med termiskt klimat är *operativ temperatur*. Vid låga lufthastigheter definieras den operativa temperaturen som medelvärdet av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur ifrån alla avgränsande ytor (Warfvinge, 2003).

### 1.1.7 Myndigheternas krav och riktlinjer gällande inomhusmiljön

#### ***Krav på det termiska klimatet***

Boverket och Folkhälsomyndigheten anger krav och rekommendationer för det termiska klimatet i vistelsezonen hos bostäder och lokaler som används frekvent, till exempel klassrum.

Boverkets byggregler (BBR, 2012) anger att byggnader ska utformas så att tillfredsställande termiskt klimat uppnås. Vidare anges att byggnader och dess installationer ska vara utformade så att det termiska klimatet är anpassat till utrymmenas användning och kan erhållas vid normala driftsförhållanden. För att detta skall uppnås anger BBR allmänna råd vilka ska gälla för byggnader vid DVUT:

- Den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18°C i bostads- och arbetsrum och 20°C i hygienrum och vårdlokaler samt i rum för barn i förskolor och för äldre i servicehus och dylikt
- Den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5K
- Yttemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16°C (i hygienrum lägst 18°C och i lokaler avsedda för barn lägst 20°C) och kan begränsas till högst 26°C

Folkhälsomyndighet anger i sin författningssamling rekommendationer för det termiska klimatet, vilka redovisas i Tabell 1 och Tabell 2 (Folkhälsomyndighet, 2014)

**Tabell 1. Folkhälsomyndighetens allmänna råd rörande indikerande mätning av termiskt inneklimat i bostadsutrymmen och lokaler där människor vistas mer än tillfälligt, t.ex. lekhallar och klassrum.**

1. Lufttemperatur	Under 20 °C
2. Lufttemperatur	Över 24 °C Över 26 °C sommartid
3. Golvtemperatur	Under 18 °C

**Tabell 2. Folkhälsomyndighetens riktvärden och rekommenderade värden rörande utförlig bedömning av termiskt inneklimat i bostadsutrymmen och lokaler där människor vistas mer än tillfälligt, t.ex. lekhallar och klassrum.**

	Riktvärden	Rekommenderade värden
1. Operativ temperatur	Under 18 °C <sup>1</sup>	20–23 °C <sup>2</sup>
2. Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C <sup>3</sup>	
3. Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C <sup>4</sup>	
4. Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3 °C
5. Strålningstemperaturskillnad Fönster – motsatt vägg Tak – golv		Ej över 10 °C
		Ej över 5 °C
6. Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s <sup>5</sup>
7. Yttemperatur, golv	Under 16 °C <sup>6</sup>	20–26 °C

<sup>1</sup> För känsliga grupper, 20 °C.

<sup>2</sup> För känsliga grupper, 22–24 °C.

<sup>3</sup> Under sommaren, högst 26 °C.

<sup>4</sup> Under sommaren, högst 28 °C.

<sup>5</sup> Vid inomhustemperatur över 24 °C kan högre lufthastigheter accepteras.

<sup>6</sup> För känsliga grupper, 18 °C.

Enligt ISO 7730 bör lufttemperaturens skillnad mellan höjderna 0,1m och 1,1m inte överstiga 3K (Fanger, 1997). Det kan jämföras med Folkhälsomyndighetens råd på "Ej över 3°C" för skillnad i operativ temperatur.

### **Hygieniska krav på inomhusmiljön i skolor**

För att avgöra luftens kvalitet mäts vanligen halten CO<sub>2</sub>, koldioxid. Koldioxidhalten är en bra indikator för halten av övriga luftburna föroreningar som avges av människor (Abel & Elmroth, 2006). Gasen bildas vid förbränningsprocesser. Ett exempel på en sådan är metabolismen som sker i den mänskliga kroppen då kroppen omvandlar mat till rörelseenergi och värme. Normalt innehåller frisk uteluft 300-400 ppm CO<sub>2</sub>. Förorenad utandningsluft kan dock ha så hög halt som 40 000 ppm (Warfvinge, 2003).

Tidigare har de hygieniska kraven utfärdats av Socialstyrelsen men sedan den 1 januari 2014 är det Folkhälsomyndigheten som utfärdar riktlinjer för ventilation i allmänna lokaler. Riktlinjen för skolor är att uteluftflödet inte bör understiga ca 7 l/s per person. Dessutom bör ett tillägg om 0,35 l/(s·m<sup>2</sup>) golvarea göras för att kompensera för föroreningar från andra källor än människor. Återkommande halter över 1000 ppm CO<sub>2</sub> vid normal användning kan ses som en indikation på att luftflödet är otillfredsställande (Folkhälsomyndigheten, 2014).



### ***Tappvarmvattentemperatur***

Enligt Boverkets riktlinjer bör temperaturen i ett cirkulerande system aldrig understiga 50°C (Boverket, 2014). Detta är på grund av risken för tillväxt av legionellabakterier, vilka kan orsaka legionärssjuka. Vid tappstället bör temperaturen inte överstiga 65°C, på grund av risken för skållning.

## **1.2 Syfte**

Huvudsyftet med denna rapport är att analysera energianvändning och termiskt klimat hos en byggnad uppförd med passivhusteknik. Flera parametrar som påverkar energianvändningen och inneklimatet ska studeras genom olika metoder, där vissa metoder är kända sedan tidigare medan andra utvecklas under projektet. Metoderna syftar till att utnyttja den tidsupplöst mätdata som samlas in av det befintliga mätsystemet. Dessa metoder appliceras sedan på en skola uppförd med passivhusteknik, Emiliaskolan i Landskrona. Rapporten skall ge underlag för att:

- Undersöka sex parametrar som påverkar energianvändningen:
  1. Lufttemperatur inomhus
  2. Ventilationsflöde
  3. Personnärvaro
  4. Temperaturverkningsgrad på värmeåtervinning
  5. Klimatskärmens genomsnittliga U-värde
  6. Tappvarmvattens temperatur
- Studera väderlekens inverkan på energianvändning och inomhusklimat
- Presentera referensvärden som kan användas för skolor och lokaler byggda med passivhusteknik

## 2 Metod

### 2.1 Huvudmetod

För att kunna analysera energianvändning och inomhusklimat hos en passivhusbyggnad ska sex parametrar studeras. Anledningen till varför just dessa parametrar har valts är att de alla utgör en viktig del av byggnadens energibalans och inomhusklimat. Dessutom är alla parametrarna mätbara vilket är fördelaktigt, då metoderna kan appliceras på alla befintliga byggnader med installerat mätsystem.

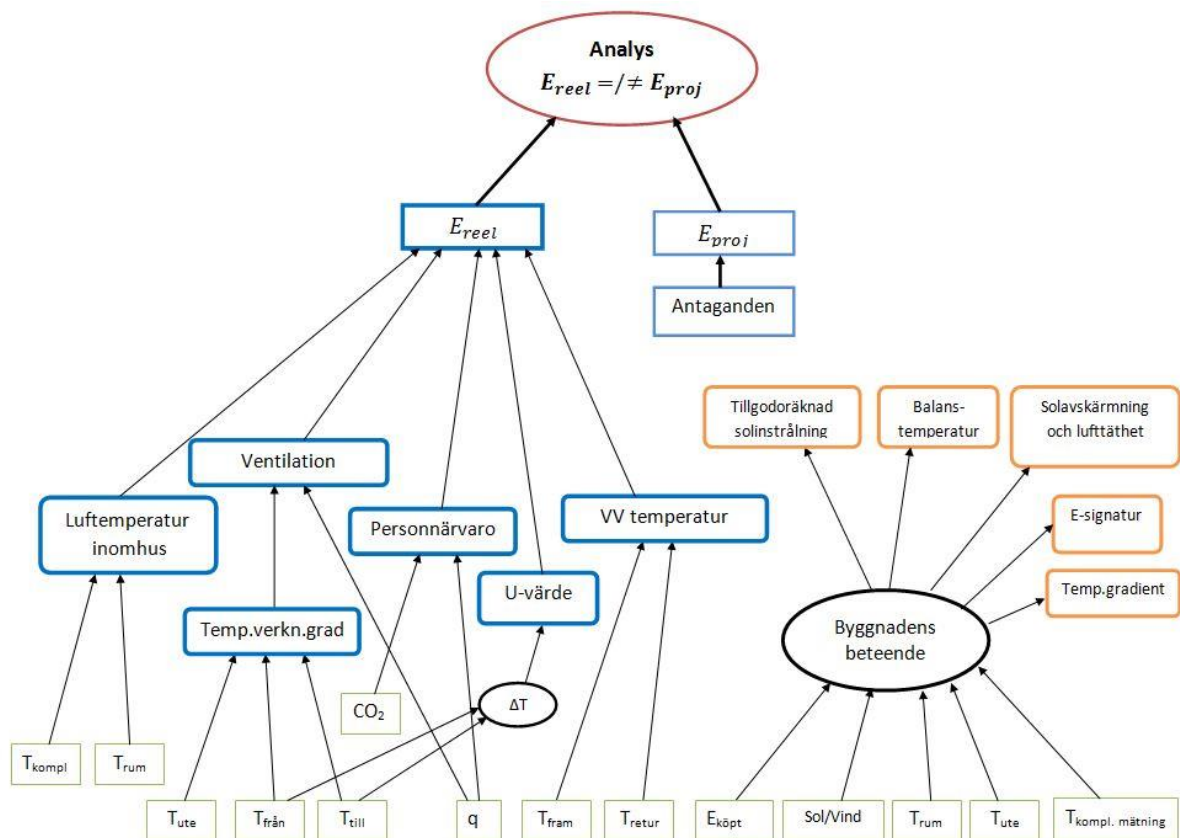
De studerade parametrarnas effekt på byggnadens energianvändning och inomhusklimat har delvis introducerats i Bakgrund (se Avsnitt 1.1.1). *Lufttemperatur inomhus* har en direkt koppling till hur mycket värmeenergi som ska tillföras byggnaden för att upprätthålla ett bra termiskt klimat. Storleken på *ventilationsflöde* är avgörande för hur mycket värme som kommer att föras bort från byggnaden via ventilationsförluster. Rätt ventilationsflöde är dessutom en förutsättning för en bra luftkvalitet inomhus. Värmeåtervinning hos ventilationssystemet minskar värmeförlusterna som annars sker i systemet. Det innebär att värmeväxlarens *temperaturverkningsgrad* påverkar byggnadens uppvärmningsbehov. *Personnärvaron* påverkar mängden gratis värme som alstras i byggnaden. *Klimatskärmens genomsnittliga U-värde* har ett direkt samband med storleken på värmetransmissionsförlusterna, medan *tappvarmvattens temperatur* avgör hur mycket energi som används för uppvärmning av den samma.

Ett antal metoder har utarbetats för att studera var enskild parameter. Metoderna utnyttjar mätdata som samlas in automatiskt av en datoriserad undercentral, DUC. Mätdata har också erhållits i form av klimatdata från SMHI och genom kompletterande temperaturmätningar. Vidare studeras bygghandlingar och de beräkningar som utförts under projektering.

De utarbetade metoderna kan användas till att studera byggnadens specifika energianvändning. Om den uppmätta specifika energianvändningen avviker från det projekterade värdet, ska ovan nämnda parametrar undersökas för att ge en förklaring till varför. Om den specifika energianvändningen stämmer med det projekterade värdet, kan analys av de studerade parametrarna ge en indikation på om rätt energianvändning också innebär bra inomhusklimat.

Utöver det insamlade materialet hade en kompletterande intervjustudie varit av intresse. Särskilt gäller det för frågor gällande inneklimatet, där brukarens syn hade varit intressant. Intervjuer hölls visserligen med ett fåtal personer kopplade till objektet, men de intervjuerna kan inte ligga till vetenskaplig grund för några slutsatser om brukarnas upplevda klimat.

Metod- samt Resultat och analyskapitlet är uppdelade efter de ingående parametrarna, för att förenkla för läsare som är intresserade av enskilda parametrar. Arbetets uppbyggnad och omfattning åskådliggörs som ett flödesschema i Figur 1.



Figur 1. Ett flödesschema över arbetets uppbyggnad. Längst nere presenteras olika typer av mätdata som direkt kan läsas av genom DUC:en samt klimatdata gällande sol-, vind- och temperaturförhållanden. De studerade sex parametrarna har markerats med en tjock streckad linje. Figurens högre del redovisar den delen av rapporten som behandlar byggnads värmetekniska beteende.

### 2.1.1 Klimatdata

Klimatdata för temperatur utomhus och solstrålning införskaffas från SMHI. Eftersom inga klimatdata finns tillgänglig under den aktuella perioden för orten Landskrona baseras analysen på mätdata från Helsingborg och Lund.

För temperatur utomhus samt vindhastighet väljs en väderstation i Helsingborg då vindförhållanden i Helsingborg antas vara dem som bäst återspeglar väderdata i Landskrona. Mätvärden för Helsingborg ges för varje timme med enhet °C och m/s för respektive temperatur och vindhastighet.

Mätdata för global solstrålning erhålls ifrån SMHI och gäller väderstation i Lund, eftersom denna väderstation ligger närmast objektet. Global solinstrålning mäts för varje timme och anges i enheten i  $W/m^2$ .

För normalårskorrigerigering används utetemperatur för normalår för orten Sturup från (Nevander & Elmarsson, 2009).

### 2.1.2 Definition av soliga/molniga samt vindstilla/blåsig dag

Data för global irradians erhålls ifrån SMHI och är angiven i  $W/m^2$ . Denna effekt omräknas till totalstrålningsenergin per ytenhet och dygn genom att givna värden multiplicerats med en timme och lagts sedan ihop under dygnets 24 timmar. Soliga dagar definierats därefter som de dagar vars ackumulerade dygnsvärde för den globala irradiansen är över  $3000 Wh/m^2$ . För molniga dagar bestäms den globala irradiansen vara under  $500 Wh/m^2$ . Dessa gränsvärden bestäms utifrån analysen av tillgodogjord solinstrålning, genomförd av Bagge (2007). De dagar vars dygnsvärden för den globala irradiansen ligger mellan dessa gränsvärden definierats som delvis mulna och tas inte med i analysen.

SMHI:s mätdata för vindhastigheter är tillgängliga som timsvärden. Eftersom rapporten endast beaktar skillnaden mellan väderförhållanden för dygnet som helhet, beräknas ett dygnsmedelvärde. SMHI:s gräns för måttlig vind (3,4 m/s) väljs för att definiera en blåsig dag medan vindhastigheter som är lägre än detta värde definieras vara en vindstilla dag (SMHI, 2014).

### 2.1.3 Avgränsningar

Rapportens huvudfokus ligger på energianvändning som sker i byggnaden under drift. Hur mycket energi som används för uppförandet av byggnaden och dess ingående material ingår ej. Inte heller behandlas byggnadens miljöavtryck och ekologiska hållbarhet ut annat än energi synpunkt.

Analys av inomhusklimatet begränsas till undersökning av det termiska klimatet samt ventilationsflöden, vilket kan ge en indikation på luftens kvalitet inomhus. Ljud- och ljuskvalitet behandlas ej i denna studie.

För att kunna göra kostnads- och tidseffektiva mätningar används lufttemperaturer för att göra analyser av det termiska klimatet. Dessa analyser jämförs mot krav och rekommendationer ifrån myndigheter, vilka omfattar både lufttemperaturer och operativa temperaturer. Det bör nämnas att uppmätta lufttemperaturer inte kan jämföras rakt av med operativa temperaturer.

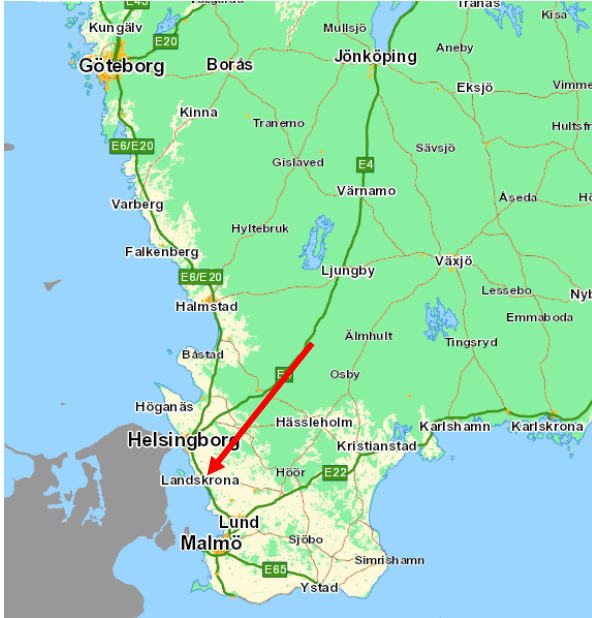
De olika driftsfallens påverkan på energianvändning har ej studerats. Inte heller dess inverkan på luftens kvalitet.

För det undersökta objektet har storköket avgränsats i studier kring ventilation och uppvärmning. För tappvarmvattenanvändning har storköket dock inkluderats. Varför det inkluderats förklaras mer ingående i Avsnitt 2.2. Kallvattenanvändning har ej beaktats.

## 2.1.4 Objektsbeskrivning – Emiliaskolan

### *Allmänt*

Emiliaskolan är belägen i samhället Häljarp med 2800 invånare som ligger strax utanför Landskrona. I Figur 2 ses byggnadens geografiska läge i förhållande till kusten och andra orter relevanta för denna rapport: Helsingborg och Lund.



Figur 2. Emiliaskolans geografiska läge. Källa: ([www.hitta.se](http://www.hitta.se)).

Skolan byggdes på uppdrag av Landskrona stad och stod klar våren 2011. Byggnaden är på cirka 3000 m<sup>2</sup> vilket ger plats för cirka 350 barn. Byggnadens utseende kan ses i Figur 3.

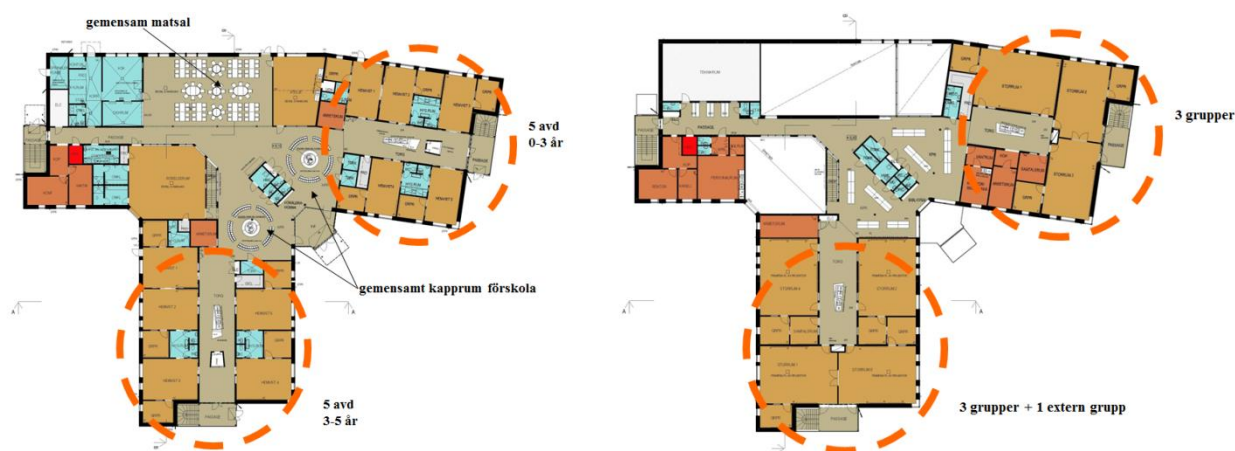


Figur 3. Emiliaskolan exteriör sett från huvudentré. Källa: E. Harming.

### ***Orientering, geometri och utformning***

Byggnaden är placerad i utkanten av samhället men med en skyddande topografisk placering något nedsänkt i förhållande till de omgivande fälten. Skolans huvudentré vetter mot nordost och är försedd med vindfång. Tre utvändiga trappor på byggnadens korta sidor är inglasade och även de fungerar som vindfång. Byggnadens fönsterplacering är jämnt fördelade över hela fasaden.

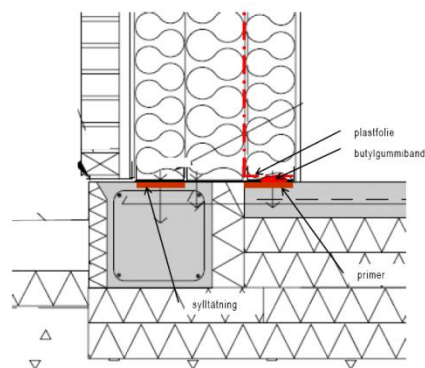
Huskroppen är T-formad med två flyglar. Byggnaden är kompakt och uppdelad på två plan. Bottenvåningen är avsedd för förskoleverksamhet medan ovanvåningen rymmer avdelningar för barn upp till 10 år. Verksamheten bedrivs enligt Reggio Emilia-principen, där elevens nyfikenhet sätts i centrum. En innebörd av detta är att det inte finns några korridorer i vanlig bemärkelse, utan istället "torg" där barn och pedagoger kan mötas. Planritningar över bottenvåningen och ovanvåningen samt redovisning av verksamhetens olika avdelningar visas i Figur 4. Uppvärmningsarean,  $A_{temp}$ , enligt Boverkets definition är 2970 m<sup>2</sup>.



**Figur 4. Plan över bottenvåningen samt ovanvåningen som används till förskole- och skolverksamheten respektive. Källa: Bygghandlingar.**

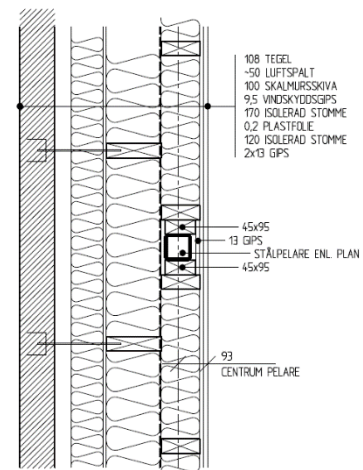
### ***Klimatskal***

**Grund:** Emiliaskolan är grundlagd med platta på mark som har 300 mm underliggande cellplast (se Figur 5). Det ger ett teoretiskt U-värde på 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K). Kantbalkar är isolerade med 150 mm kantisolering för att minska effekten av köldbryggor.



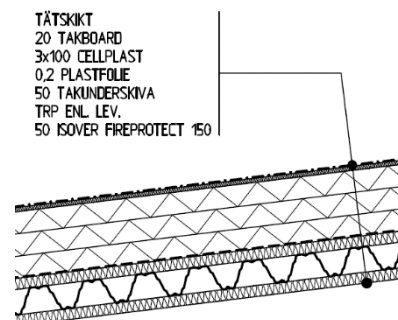
**Figur 5. Skiss över byggnadens grundläggning som utgörs av platta på mark med underliggande isolering av cellplast. Konstruktionens teoretiska U-värde är 0,10 W/( m<sup>2</sup>·K).**

**Ytterväggar:** Väggarna utgörs av en träregelstomme med en skalmur av tegel (se Figur 6). Luftspalten är 50 mm, följt av 100 mm isolerande skalmursskiva med efterföljande 170 mm och 120 mm mineralullisolering. Sammanlagt innebär det 390 mm isolering vilket ger ett teoretiskt U-värde på  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



**Figur 6. Ytterväggens uppbyggnad.**  
Träregelstomme är isolerad med sammanlagd 390 mm mineralull vilket ger ett U-värde på  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

**Tak:** Takets isolering utgörs av 300 mm cellplast och 50 mm undertaksskiva. Det ger taket ett teoretiskt U-värde på  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Se Figur 7.



**Figur 7. Uppbyggnad av takkonstruktionen.**  
Det teoretiska U-värdet på  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

**Fönster** är av typen 3-glas med lågmissionsskikt, argongas och varmkant. Varmkant innebär att distansen mellan fönstrens glas byts ut till ett material som minskar värmeledningen. Detta ger fönstren ett teoretiskt U-värde på  $0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

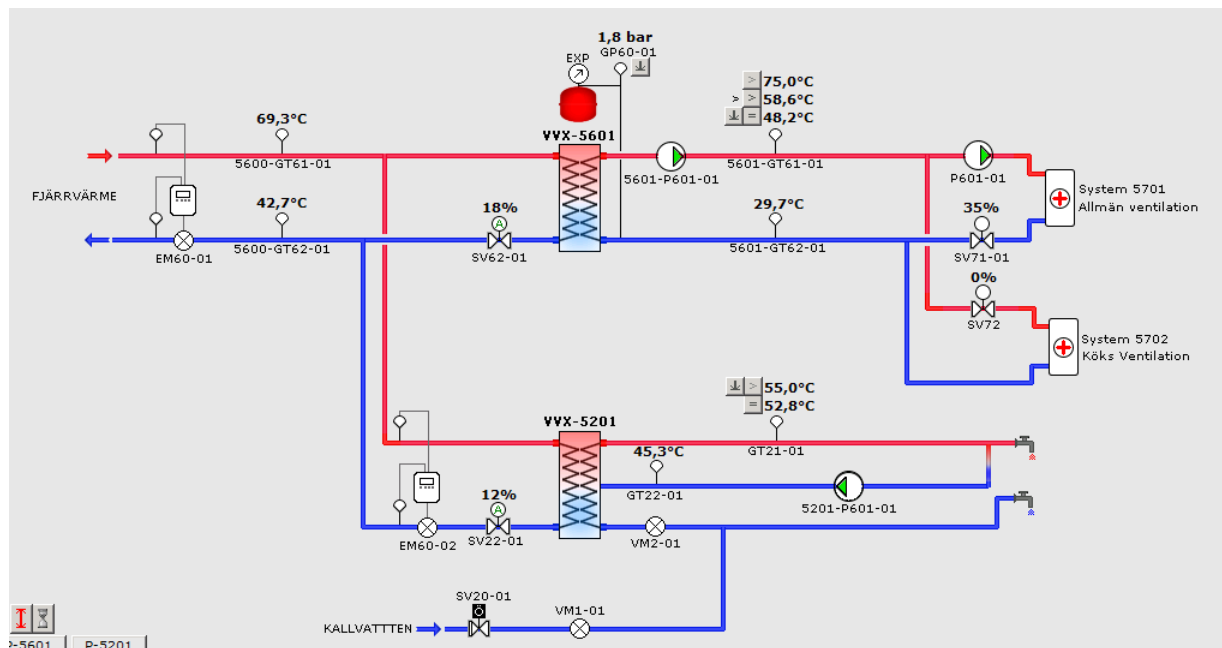
**Ytterdörrar** har ett teoretiskt U-värde på  $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

**Lufttätheten** vid 50 Pa har enligt bygghandlingar tidigare uppmätts till  $0,14 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  vid provtryckning enligt SS-EN 13829.

All ovanstående information om byggnadens konstruktioner är framtagen ur bygghandlingarna.

### Undercentral

Det som traditionellt sett kallas "undercentral" är i Emiliaskolan placerat på andra våningen tillsammans med ventilationsaggregatet i ett teknikrum. Inkommande fjärrvärme registreras här varpå den fördelas mellan de två värmeväxlarna för värme och tappvarmvatten (se Figur 8).

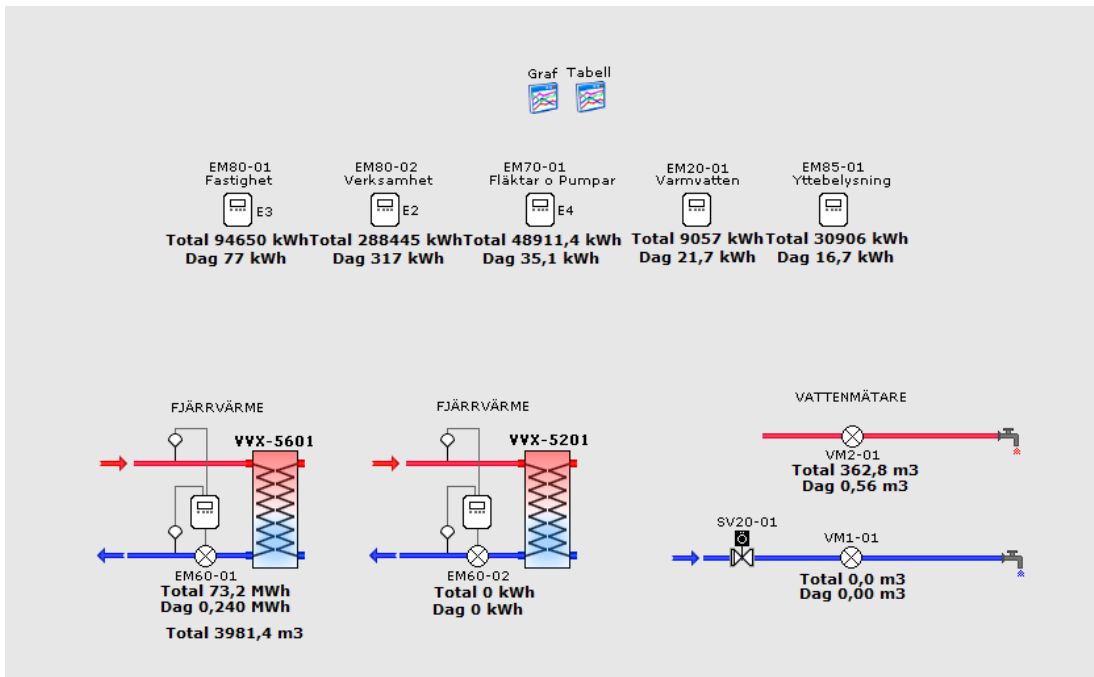


Figur 8. Schematisk skiss över byggnadens undercentral. Utdrag från DiaBild 3000.

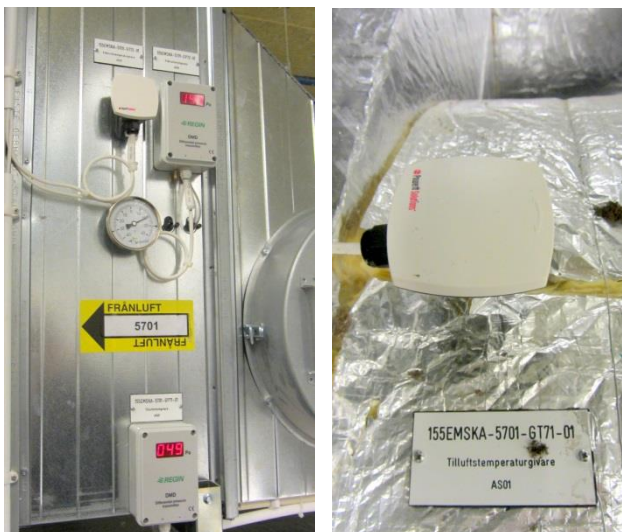
Inkommande kallvatten registreras, varpå merparten passerar ut i byggnaden som kallvatten. Det finns inget cirkulerande varmvattensystem ute i skolbyggnaden, utan vattnet värms direkt vid tappstället via genomströmningsvärmare. En liten del värms dock upp för ett cirkulerande tappvarmvattensystem som ombesörjer storköket vilket ligger i anslutning till teknikrummet. På så sätt eliminerar man cirkulationsförlusterna som annars hade uppkommit. Några toaletter som ligger i samma del av byggnaden som teknikrummet och storköket ombesörjs också av det cirkulerande systemet.

I teknikrummet sitter även ett antal sensorer och mätare (se Figur 10) kopplade till DUC:en. Tillsammans med programvaran DiaBild 3000 samordnar och styr DUC:en byggnadens olika system. Powerit Solutions står för energiförvaltningssystemets design och drift. Systemet har flera användningsområden. Dels används det för att aktivt styra olika reglage, dels för att mäta energianvändningen (se Figur 9). DiaBild 3000 ger även en klar grafisk bild över anläggningen samt en överblick över uppmätta data och driftstatistik. Eftersom systemet är anslutet till internet går det att övervaka det på distans.





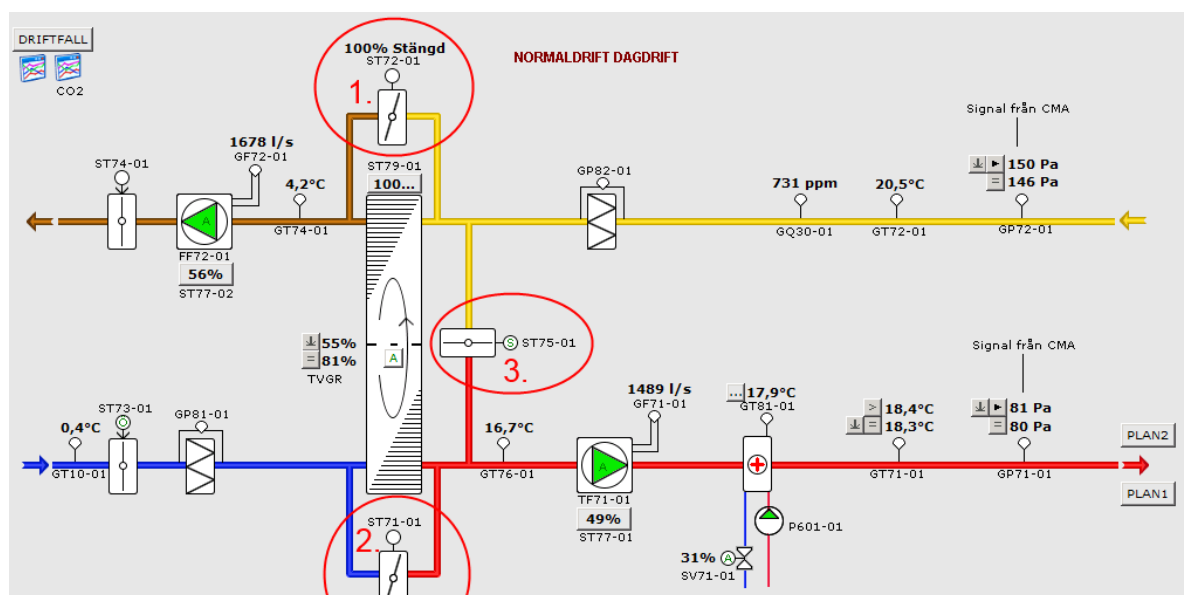
Figur 9. Exempel på hur byggnadens energianvändning kan övervakas på ett överskådligt sätt. Utdrag från DiaBild 3000.



Figur 10. Några exempel på mätare installerade i byggnadens teknikrum.

## Ventilation

**Allmän ventilation:** Emiliaskolan har ett ventilationssystem med variabelt flöde (VAV) där flödet avgörs av ventilationsbehovet vilket anpassas efter temperaturen hos frånluften. Koldioxidhalten hos frånluften mäts, men har ingen direkt reglerande funktion utan fungerar som larm om värdet stiger över 1000 ppm. Dagtid, klockan 8-18 avgörs luftflödet av de sammanlagda ventilationsbehoven av alla individuella klassrum. Normalt passerar luften genom en roterande värmeväxlare. Då återvinningsbehovet är litet tillåts luft dock fritt passera bredvid värmeväxlaren via två stycken spjäll, markerade 1 & 2 i Figur 11. Anledningen till detta är att minska tryckförlusterna som uppkommer då luftflödet strömmar genom värmeväxlaren. Nattetid, klockan 19-07, stängs spjällerna och värmeväxlaren. Istället öppnas då ett tredje spjäll, markerat 3 i Figur 11, vilket möjliggör användningen av 100% återluft. Denna tekniska lösning har som tidigare nämnts generellt sett övergetts sedan drygt 30 år i Sverige. Det då energibesparing istället uppnås med värmeväxling, utan att riskera negativ påverkan på luftkvaliteten. Allt detta har definierats i byggnadens styrfunktioner.



Figur 11. Schematisk skiss över allmänna ventilationssystemet med markerade spjäll. Utdrag från DiaBild 3000

För det allmänna ventilationssystemet används ett luftbehandlingsaggregat med en roterande värmeväxlare. Luftbehandlingsaggregatet har tillverkats av företaget Fläkt Woods. Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad enligt produktdata i bygghandlingar är 80,9% under vintertid.

Tilluftsdonen i byggnaden är av typen TTC Aktivt ifrån Lindinvent (se Figur 12), vilka aktivt reglerar luftflödet med avseende på rumstemperaturen enligt ett detaljerat reglerprogram. TTC Aktivt taktilluftsdon är försedda med en temperaturgivare. Enligt produktdatablad, se Bilaga 1, registrerar temperaturgivare rummets verkliga rumstemperatur efter att luftomblandningen i lokalen har skett. Mätnoggrannhet hos denna temperaturgivare är enligt producenten +/- 0,5°C (Persson P., personlig kommunikation, 28 mars 2014).



**Figur 12.** TTC- Det aktiva takmonterade tilluftsdonet med markerad temperaturgivare.  
Källa: Produktbeskrivning från Lindinvent (se Bilaga 1).

Exakt hur tilluftsdonen tillsammans med DUC reglerar temperaturen i skolan definieras i styrfunktioner framtagna för byggnaden. Förenklat fungerar systemet så att det under vintern laddas in så mycket värme som möjligt i byggnaden genom att låta lufttemperatur i rum gå upp till 23°C under dagtid. Luftflödet hålls nära den hygieniska gränsen. Under nätter och helger används 100% återluft. Under natten tillåts lufttemperatur i rum sjunka till 18°C. Ett antal timmar innan öppning ökas temperaturens börvärde till 22°C. Börvärdet kan sättas individuellt för alla rum, antalet timmar innan öppning som det värms på bestäms enligt en optimeringsalgoritm.

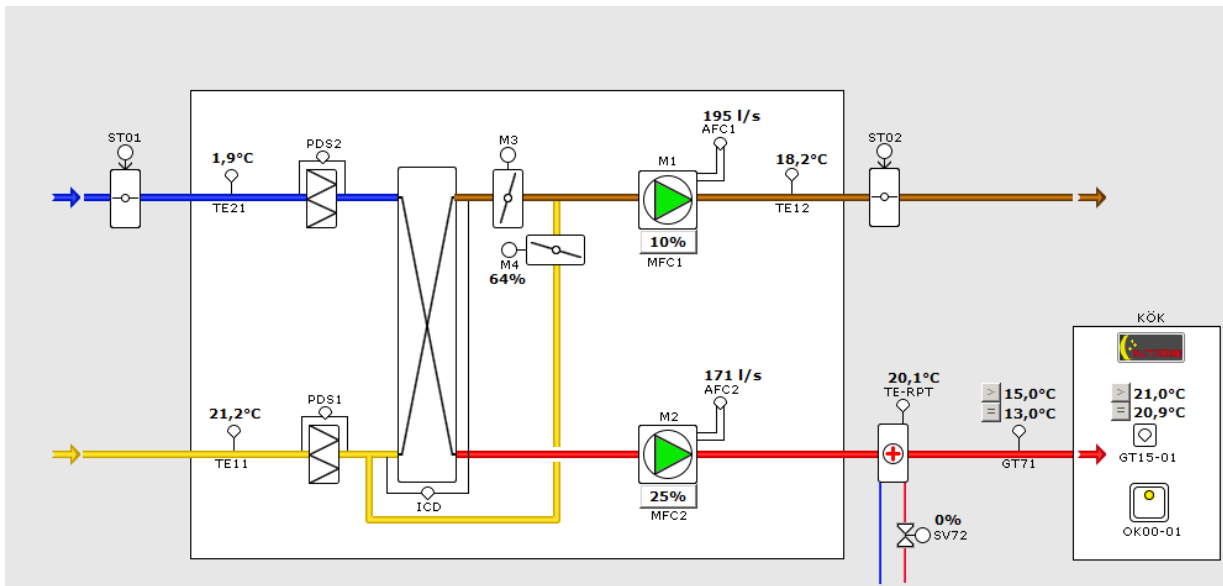
Styrfunktionen anger att vid rumstemperaturer lägre än 20°C ska tillsattsvärmen kunna tillföras via övertempererad tilluft samt med hjälp av lokal eftervärme i form av värmebatterier i tilluftskanaler. Enligt driftspersonal har dock de lokala värmebatterierna ej installerats.

Belysningen i byggnaden är också en del av uppvärmningssystemet och består av lysrör som vid rumstemperaturer under 20°C ska tändas för att fungera som tillsattsvärmen. Belysningen är annars närvarostyrd med möjlighet att manuellt tända och släcka.

Inget aktivt kylsystem finns, dock är skolan utrustad med aktiv solavskärmning i form av externa persienner vilka aktivt fälls upp och ned för att minska värmelasten av solinstrålning då den ej är önskvärd ur uppvärmningssynpunkt.

Sommartid eftersträvar systemet att ladda in kyla genom att ventileras med uteluft nattetid. Om temperaturdifferens mellan ute- och inneklimat är mindre än 1°C blockeras emellertid nattkylan. Dagtid är systemet inställt för att hålla en rumstemperatur på 21°C, vilket är en lägre temperatur än på vintern. Det har sin förklaring i att tanken är att vintertid ska rummen värmas UPP till 23°C och sommartid ska rummen kylas NER till 21°C. Eftersom dessa är de eftersträvade temperaturerna innebär det att den reela temperaturen bör vara ungefär den samma.

**Köksventilation:** Skolans storkök har försetts med ett separat, enklare ventilationssystem med plattvärmväxlare (se Figur 13). Anledningen är att frånluften där innehåller betydligt mer partiklar vilket skulle inneburi ökat underhåll av det allmänna ventilationssystemet. Köksventilationen kan också regleras manuellt av personalen, vilket inte är fallet för övrig ventilation.



Figur 13. Schematisk skiss över köksventilationssystemet. Utdrag från DiaBild 3000.

### *Emiliaskolan som ett passivhus*

Emiliaskolan projekterades år 2008. Då fanns inte någon svensk kravspecifikation för passivhus avsedd lokaler. Många nyckeltal som antogs vid projekteringen är därför grundade på kravspecifikationen för bostäder utarbetad av FEBY 2008.

Emilaskolan projekterades för att klara följande värden:

- Maximal effekt för uppvärmning:  $25 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Specifik energianvändning:  $42 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Fönsters U-värde:  $0,9 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
- Lufttäthet:  $0,2 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$  vid 50 Pa tryckskillnad

Det ska observeras att det projekterade värdet för uppvärmningseffekten ( $25 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$ ) som överskrider kravet på  $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$  (se Avsnitt 1.1.2) är acceptabelt då hänsyn till tillägg på grund av ökad ventilation för lokaler tas med i beaktning.

Energiberäkning för Emiliaskola har genomförts under projekteringen med hjälp av IDA Indoor Climate and Energy 3.0. Energiberäkningen utförs på så sätt att det först beräknats värmebehov för några specifika rum/zoner, som representerar majoriteten av byggnadens alla rum. Dessa zoners värme- och effektbehov är beräknade för två fall, med och utan personvärme, varefter de sammanställts i en Excel-fil. Därefter summeras alla zoner för att erhålla byggnadens specifika energianvändning, med och utan personvärme. Personvärmen har bedömts vara enligt Bilaga 2. Notera att de flesta mindre rum, så som grupprum, WC och torg är beräknade utan personvärme.

Byggnadens specifika energianvändning beräknats till  $42 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{år)}$  (ink. 12% marginal), vilket fördelas på följande energiposter (se Tabell 3):

Tabell 3. Projekterade värden för energibehov enligt bygghandlingarna.

Energipost	kWh/(m <sup>2</sup> ·år)
Uppvärmning	23
Tappvarmvatten	6
Komfortkyla	0
Fastighetsel (el till fläktar och pumpar, teknikrums- och ytterbelysning)	13
<b>Totalt</b>	<b>42</b>

El som används till tappvarmvattenberedning via genomströmningvärmare ingår i posten "tappvarmvatten".  $A_{temp}$  som använts för denna energiberäkning är 2970 m<sup>2</sup>.

Observera att tappvarmvattenbehovet för storköket ingår i denna energiberäkning. Dock ska detta enligt definition (Boverket, 2014) inte ingå i den specifika energianvändningen. Eftersom den dock har ingått i den projekterade energianvändningen har rapporten utgått ifrån samma förutsättningar. Eventuella skillnader och konsekvenser diskuteras i Avsnitt 3.8.

### 2.1.5 Sammanställning över studerade tidsperioder

Tidsperioder som använts för analys väljs både med hänsyn till studerade frågeställningar och de begränsningar som finns i automatiskt insamlad mätdata. Dessa begränsningar kan exempelvis vara felaktigheter i mätintervall samt ej registrerad data för vissa perioder. Avsaknaden är beroende av mätdatans tidsupplösning och typ. Det innebär att avsaknaden av data förekommit under perioder som varierar ifrån enstaka timmar till sammanhängande månader.

I vissa delar av undersökningen begränsas analysen av data till dag- eller nattdriften under vardagar. För dag- och nattdriften gäller tidsperioder klockan 08.00-18.00 respektive klockan 00.00-07.00 .

En sammanställning av studerade tidsperioder för respektive parameter samt referenser till aktuella avsnitten redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Sammanställning av studerade huvud- och delparametrar, de aktuella tidsperioderna samt hänvisning till aktuella avsnitten.

Typ av undersökning	Studerad tidsperiod		Avsnitt i Metod	Avsnitt i Resultat & Analys
	Fr.o.m.	t.o.m.		
Uppmätt energianvändning	2012-01-01 2013-01-01	2012-12-31 2013-12-31	2.2.1	3.1.1
Utomhusklimatets påverkan på effektbehovet	2013-01-01	2013-12-31	2.2.2	3.1.2
Lufttemperatur i fyra rum på plan 1	2013-02-01 2013-11-25 2013-08-19 kl. 08:00 bara vardagar	2013-02-28 2013-12-24 2013-09-19 kl. 18:00	2.3.1	3.2.1
Lufttemperatur i fyra rum på plan 2	2013-11-25 2013-08-19 kl. 8:00 bara vardagar	2013-12-24 2013-09-19 kl. 18:00	2.3.1	3.2.1
Lufttemperatur inomhus med avseende väderlek	2013-01-01 2013-07-05 kl. 00:00 med helgdagar	2013-02-08 2013-12-31 kl. 23:00	2.3.2	3.2.3
Mätning av temperaturgradienten	2014-03-03 kl.00 var 30:e minut	2014-03-07 kl.23	2.3.3	3.2.4
Jämförande mätning mot integrerad temperaturgivare	2014-03-03	2014-03-10	2.3.4	3.2.5
Ventilationsflöde	2013-01-08 2013-11-01 kl.00 med helgdagar	2013-02-08 2013-11-30 kl.23	2.4.1	3.3
Personnärvaro	2013-01-08 2013-11-01 bara vardagar	2013-02-08 2013-11-30	2.4.2	3.4
Temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat	2012-11-14 2013-01-01 2013-11-01 kl.08 bara vardagar	2012-12-31 2013-02-12 2013-12-31 kl.18	2.4.3	3.5
Klimatskärmens genomsnittliga U-värde	2013-01-08 kl.00 bara vardagar	2013-02-08 kl.07	0	3.6
Tappvarmvattens temperatur	2013-01-08 kl.00 (vardagar)	2013-02-08 kl.23	2.6	3.7

## 2.2 Utvärdering av byggnadens specifika energianvändning

### 2.2.1 Uppmätt energianvändning

Energianvändningen hos byggnaden registreras med följande mätare (se Tabell 5).

Tabell 5. Sammanställning av vilka mätare som finns installerade enligt DiaBild 3000.

Mätare	Enhet	Uppmätt energipost
EM80-01-KW	kWh	Fastighetsel
EM80-02-KW	kWh	Verksamhetsel
EM70-01-KW	kWh	Fläktar och pumpar
EM20-01-KW	kWh	Varmvatten
EM85-01-KW	kWh	Ytterbelysning
5600-EM60-01-MW	kWh	Fjärrvärme
5600-EM60-01-M3	m <sup>3</sup>	Fjärrvärme
5600-EM60-02-MW	kWh	Fjärrvärme till varmvatten*
5200-VM1-01-M3	m <sup>3</sup>	Vattenmätare Kallvatten*
5200-VM2-01-M3	m <sup>3</sup>	Vattenmätare Varmvatten

(\*)dessa mätare ej installerats

Givaren 5600-EM60-01 som sitter vid värmeväxlaren VVX56-01 mäter den totala energianvändning som används för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten för köket. Fastighetsel mäts av givaren EM80-01 och inkluderar elanvändning till fläktar och pumpar, EM70-01, varmvatten via genomströmningsvärmare, EM20-01, samt ytterbelysning, EM85-01. Genom att summera mätvärden från 5600-EM60-01 och EM80-01 beräknas byggnadens specifika energianvändning för varje månad. Den relativt grova tidsuppdelningen beror på att den ena av studerade tidsperioderna saknar registrerade dygnsmätvärden, vilket annars skulle varit att föredra.

Det måste observeras att energibehovet för tappvarmvatten till storköket inte borde ingå i specifik energianvändning, då denna snarare hör till processenergi enligt Boverkets definition av specifik energianvändning. Processenergin används för byggnadens "främmande" verksamhet som storköket i detta fall är (Boverket, 2014). Eftersom den ändå har ingått i den projekterade energianvändningen, har rapporten skrivits under samma förutsättningar. Eventuella skillnader och konsekvenser diskuteras i Avsnitt 3.8.

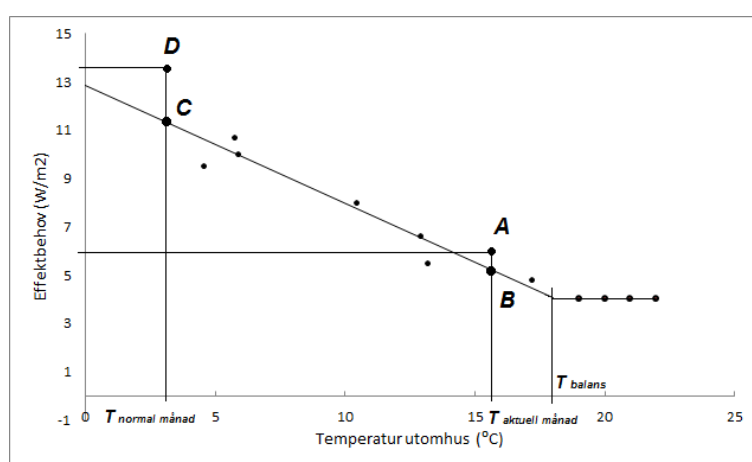
För att kunna jämföra energianvändningen mellan projekterade och uppmätta värden är det nödvändigt att beakta skillnader i förutsättningarna rörande utomhusklimatet. I energiberäkningsprogrammet IDA finns flera klimatfiler att välja emellan. Alla dessa klimatfiler baseras på normalår. Avvikelser mellan utomhusklimatet under den aktuella mätperioden och normalårsklimatdata inbyggd i IDA kan minskas genom normalårskorrigerig.

Ur de två vanligaste metoderna för normalårskorrigerig, vilka är *effektsignatur-* och *graddagsmetod*, väljs effektsignaturmetoden av flera anledningar. Dels för att graddagsmetoden räknar med balanstemperatur som är svårt att uppskatta. Dels på grund av att metoden inte tar tillräcklig hänsyn till den specifika byggnaden. Graddagsmetoden räknar även bara på klimatberoende energianvändning vilket kan vara vanskligt då den totala energianvändningen eftersöks.

Effektsignaturen beskriver emellertid byggnadens energianvändning av både beroende och oberoende av utomhusklimatets parametrar. Denna metod anses därför bättre beskriva byggnadens faktiska beteende när det gäller energianvändning vid olika utetemperaturer (Schultz, 2003).

Effektsignaturmetoden innebär att tillförd värmeeffekt beskrivs som funktion av utetemperaturen. Värdet som ligger utanför denna funktion antas utgöra den klimatberoende delen av effektbehovet. För att försumma dynamiska effekter av bland annat byggnadens termiska massa rekommenderas tidssteg på minst ett dygn (Schultz, 2003).

Den klimatberoende delen av effektbehovet anges av den horisontella linjen, medan klimatberoende delen av den lutande linjen. Linjernas skärning definierar balanstemperaturen. I Figur 14 illustreras principen för effektsignaturmetoden samt framtagandet av balanstemperaturen,  $T_{balans}$ .



Figur 14. Framtagande av byggnadens effektsignatur samt balanstemperatur

Den lutande linjens ekvation anger hur medeleffekten beror på utetemperaturen. Normalårskorrigerad utförs sedan enligt följande ekvation (se även Figur 14):

$$W_{korrigerad} = D = A/B \cdot C, \text{ där}$$

A=verklig användning

B=förväntad användning

C= förväntad korrigerad användning

D= korrigerad användning

Två effektsignaturer, en för 2012 och en för 2013, tas fram med hjälp av uppmätta värden för dygnsmedeleffekt och dygnsmedeltemperaturen utomhus inklusive helgdagar. För att anpassa mätdata till rätt linje används linjär regression, varpå en balanstemperatur kan bestämmas. Normalårskorrigerad av uppmätt energianvändning görs månadsvis för varje år och jämförs med det projekterade värdet, se Avsnitt 3.1.1.

### 2.2.2 Utomhusklimatets påverkan på effektbehovet

För att se hur byggnaden reagerar värmetekniskt med avseende på utomhusklimatet studeras sambandet mellan byggnadens effektbehov och flera av utomhusklimatets parametrar. De studerade parametrarna är soliga/molniga dagar samt vindstilla/blåsiga dagar. Analysen genomförs med hjälp



av diagram, där dygnsmedelvärde för effektbehovet plottas mot dygnsmedeltemperaturen utomhus för de olika typerna av dagar. Vardagar och helgdagar studeras var för sig. Minsta kvadratmetoden används för att bedöma skillnaden i effektbehovet mellan vardagar/helgdagar samt de olika väderparametrarna. Effektsignatur studeras för utetemperaturer mellan 0°C och 10°C, uppdelad på vindstilla/blåsiga dagar samt soliga/molniga dagar. Detta görs för att dra slutsatser om huruvida vind och solinstrålning påverkar byggnadens effektbehov. Resultatet redovisas i Avsnitt 3.1.2.

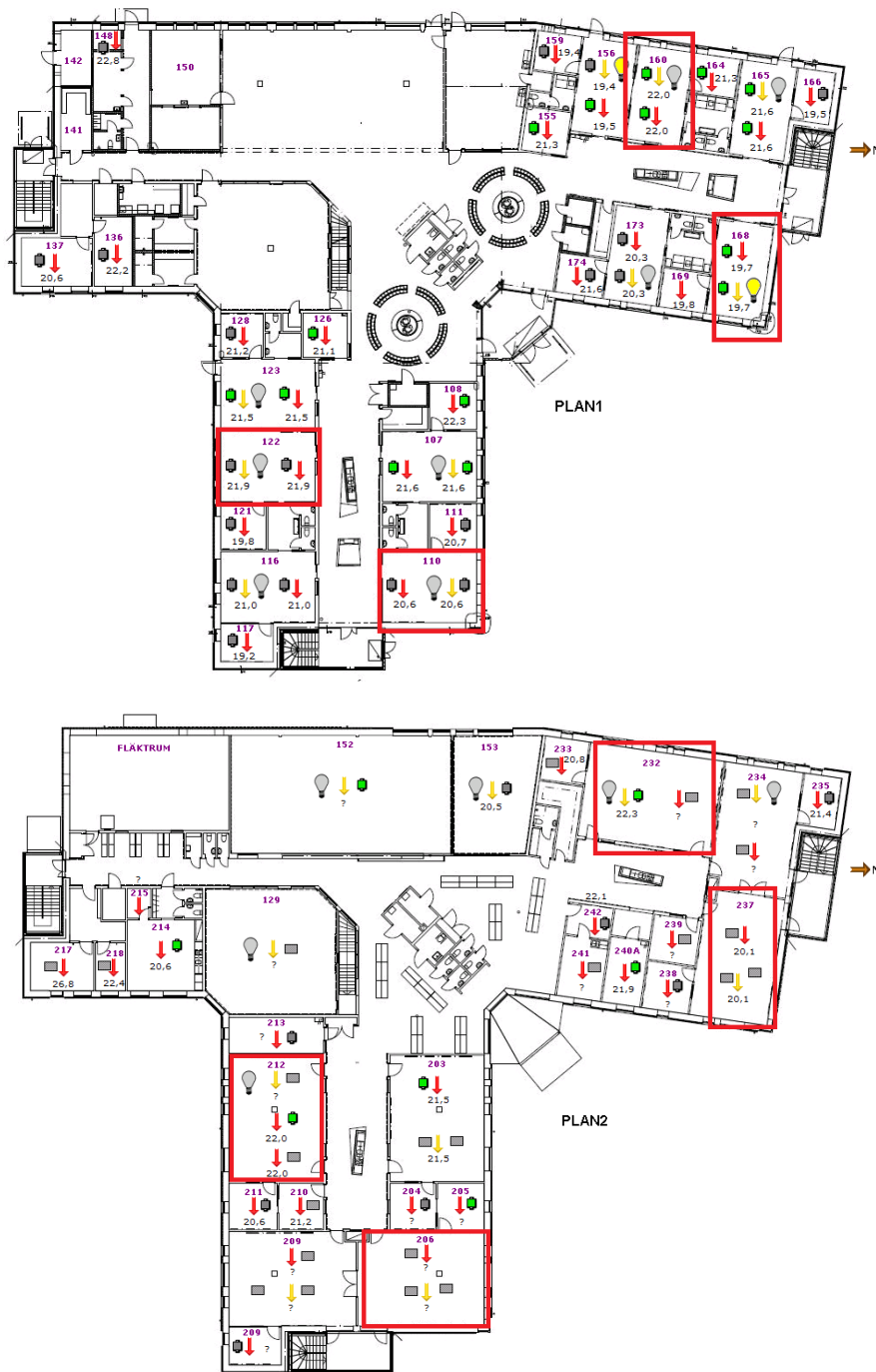
### **2.3 Undersökning av lufttemperatur inomhus**

Mätdata av lufttemperaturen samlas automatiskt in under byggnadens livstid av DUC. Dessa mätdata kommer ifrån givare integrerade i tilluftsdonen, vilka är placerade i takhöjd i de undersökta rummen. Dessa givare mäter lufttemperaturer för att reglera tilluftsdonens flöde. Mätdata analyseras för att undersöka vilka temperaturvariationer inomhus som förekommer under angivna tidsperioder. Med temperaturvariationerna menas förändringar i rummens lufttemperatur och det har studerats med avseende på följande faktorer:

- Rummets orientering och våningsplan
- Klimat
  - Utetemperatur
  - Solförhållanden
  - Vindförhållanden
- Position i höjdled-temperaturgradient

#### **2.3.1 Lufttemperatur i några utvalda rum med avseende på orientering och våningsplan**

För att få en uppfattning om lufttemperaturen i byggnaden analyseras DUC:ens mätdata för åtta rum. Dessa är fördelade på fyra rum på plan 1 och fyra på plan 2. De studerade rummen har valts utifrån tanken att beakta så många variationer av rummens olika lägen och väderstreck som möjligt. Endast rummen med undervisnings- och barnpassningsaktiviteter har tagits med i undersökningen. Det betyder att inga kontorsliknande rum eller personalrum har studerats. De aktuella rummen är markerade i Figur 15.



Figur 15. De åtta undersökta rummen på plan 1 och plan 2, där inomhustemperaturen studerats med hjälp av automatiskt insamlad data.

I vissa stora rum mäts lufttemperaturen av två mätare. I dessa fall beräknas ett medelvärde.

De uppmätta temperaturerna analyseras för två tidsperioder - en kall period och en varm period. För att kunna se temperaturvariationerna under dagen sammanställs mätdata till en medeldag för den aktuella perioden. Detta görs genom att alla dagars lufttemperaturer sorteras så att lufttemperaturer för samma tidpunkt hamnar i samma grupp motsvarande dygnets varje timme. Därefter beräknas medeltemperatur för varje grupp. Endast verksamhetstid från klockan 08.00 till klockan 18.00, måndag till fredag används för framställning av medeldagen.

För att redovisa hur stor del av mätperioden en viss lufttemperatur råder i varje rum har varaktighetsdiagram för den kalla respektive varma perioden tagits fram. Dessa baseras på timvisa mätdata mellan klockan 08.00 och klockan 18.00, måndag till fredag. Lufttemperaturens median- och medelvärde för de olika rum och perioderna tas fram och redovisas i tabellform, där även högsta och lägsta uppmätta temperaturerna framgår. För att avgöra om den lägsta och högsta lufttemperaturen har registrerats vid ett enskilt tillfälle eller om det har varit en långvarig kall eller varm dag skapas lufttemperaturens dygnsprofiler för de aktuella dagarna.

De framtagna varaktighetsdiagramen används även för jämförelse mellan erhållna *lufttemperaturerna* och Folkhälsomyndighetens rekommenderade värden för *lufttemperaturer* för indikerande mätning (se Tabell 1). Med viss försiktighet genomförs även indikerande jämförelse med Folkhälsomyndighetens rekommenderade värden för *operativ temperatur* för rum avsedda för känsliga personer (se Tabell 2). Vid låga lufthastigheter kan den operativa temperaturen beräknas som medelvärde av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur från omgivande ytor. Då byggnadens klimatskärm har ett lågt U-värde, små köldbryggor och bra lufttäthet kommer yttemperaturen på insidan att vara förhållandevis hög och kan antas vara förhållandevis nära lufttemperaturen. Den operativa temperaturen antas därför vara i samma storleksordning som lufttemperaturen och en indikerande jämförelse mellan dessa kan göras. Eftersom rummen saknar varma ytor i form av radiatorer kommer dock den operativa temperaturen vara lägre än lufttemperaturen, då effekten av den varma strålningen uteblir. Därför kommer den operativa temperaturen alltid ligga under lufttemperaturen under vinterhalvåret.

### 2.3.2 Lufttemperatur med avseende på väderlek

För denna analys beaktas hela byggnaden som en zon. Den uppmätta lufttemperaturen inomhus erhålls av givaren GT72-01 som mäter temperatur på frånluften och sitter intill värmeväxlaren (se Figur 11 i Avnitt 2.1.4). Detta ger möjlighet att studera hur inomhustemperaturen vid tak i byggnaden som helhet påverkas av ändringar i väderförhållanden. De väderförhållanden som studeras i rapporten är soliga kontra molniga samt vindstilla kontra blåsiga dagar.

För att undersöka sambandet mellan lufttemperaturen inomhus vid tak och väderleken skapas tre diagram. I dessa studeras dygnsmedeltemperaturen inomhus som funktion av utetemperaturen, dels för alla tillgängliga mätvärden och dels för soliga/molniga samt vindstilla/blåsiga dagar. För resultat och analys se Avsnitt 3.2.3.

### 2.3.3 Mätningar av temperaturgradienten i två rum

Enligt produktbeskrivning av TTC Aktivt taktilluftsdon från Lindinvent har dessa don inbyggda temperaturgivare som mäter lufttemperaturen efter att luftomblandningen i lokalen har skett.

Tilluftsdonen är placerade i taket. I och med att byggnaden värms upp med hjälp av övertempererad tilluft och det faktum att varm luft stiger uppåt är det av intresse att undersöka den verkliga luftomblandningen och temperaturgradienten i några utvalda rum.

Temperaturloggrar placeras på olika höjd i rummet för att mäta temperaturgradienten. Höjden var 0,1 m, 1,1 m samt vid taket, ca 3 m över golvnivå. Exempel på hur de placeras finns i Figur 17. De första två mätpunkter ska motsvara höjden på sittande personens ankel- och huvudhöjd (Hansen, Jensen, & Stampe, 1997). Med hjälp av dessa mätpunkter åskådliggörs temperaturgradienten i en graf. Den tredje mätpunkten är för att få en bild av gradienten sett över hela rumshöjden.

De två rummen som undersökts är nr 168 och nr 237. Både rummen är hörnrum med fönster som vetter mot ost (se Figur 16).

De loggrar som användes kalibrerades enligt förfarande redovisat i Bilaga 3.



Figur 16. Lufttemperaturmätningar har genomförts i rum 168 och 237.

Eftersom rummet 168 tillhör förskoleverksamheten valdes att placera den lågt placerade loggern bakom en möbel för att undvika att barnen skulle plocka ner den (se Figur 17 och Figur 19).

Temperaturgradienten redovisas för fyra specifika klockslag för varje dygn under mätperioden. Inga medelvärden har beräknats, eftersom om gradienter för samma rum eller tid läggs samman finns en risk att utslaget sjunker. Det då gradienten kan skifta med tiden och därför blir det sammanlagda utslaget mindre än vid momentana mätningar.

Fyra klockslag undersöks för att försöka ge en nyanserad bild av rummets gradient under olika driftsfall. De klockslag som undersökts är:

- Klockan 03.00, undersöka temperaturgradienten under nattdrift.
- Klockan 08.00, undersöka temperaturgradienten under morgonen då skolans öppnar.
- Klockan 15.00, undersöka temperaturgradienten då verksamheten är i full drift.
- Klockan 20.00, undersöka temperaturgradienten under kvallsdrift.



Figur 17. Placering av loggrar i rum 168.

Resultaten presenteras i Avnitt 3.2.4.

### 2.3.4 Jämförande mätning mot integrerad temperaturgivare

En temperaturlogger placeras precis under tilluftsdonet, för att kunna undersöka om det kan uppmätas någon skillnad mot den integrerade temperaturgivaren. Loggern placeras med hjälp av ståltråd ca 10 cm nedanför donen, se Figur 18.



Figur 18. Placering av logger under tilluftsdon.

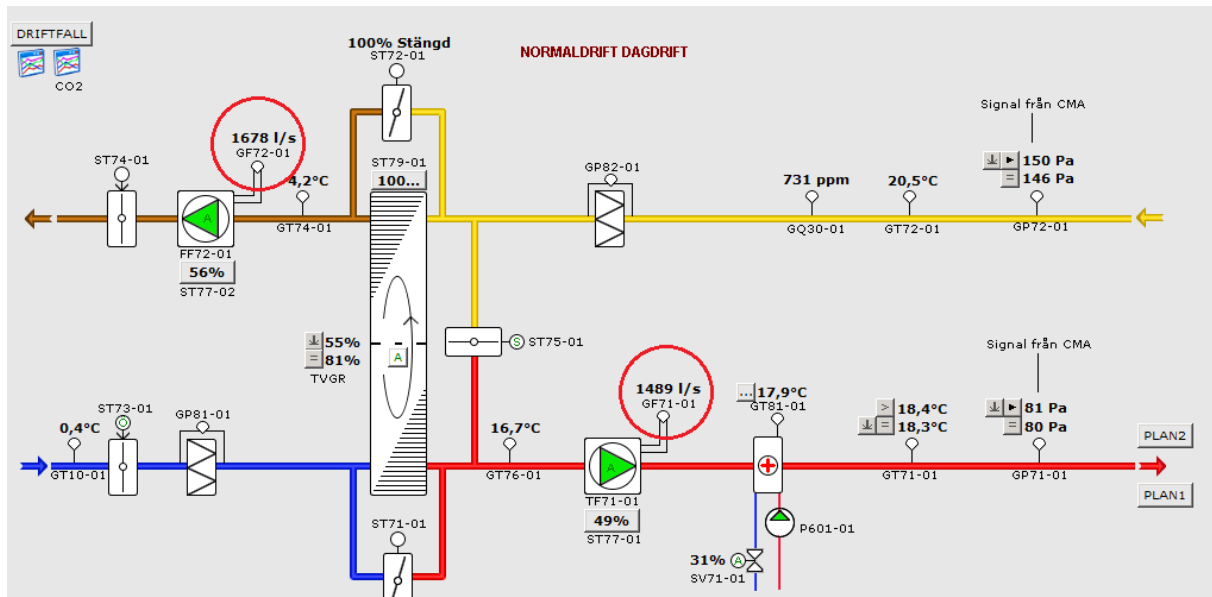
Loggern kalibreras enligt förfarande i Bilaga 3. Två rum undersöktes, nr 168 och nr 237, se Figur 16. Resultatet presenteras i Avnitt 3.2.5.

## 2.4 Undersökning av ventilation

### 2.4.1 Undersökning av ventilationsflöde

Syftet är att undersöka om ventilations flöde uppfyller det hygieniska börvärdet om  $0,35 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2) + 7 \text{ l}/\text{s}$  och person. Maximalt, medel och minimalt flöde för respektive till- och frånluft redovisas, samt antalet personer detta tillgodoser.

Tilluftsflödet och frånluftsflödet mäts av respektive givare GF71-01 och GF72-01 (se Figur 19).



Figur 19. Schematisk skiss över allmän ventilation med markerade givare på tilluftsflödet (GF71-01) och frånluftsflödet (GF72-01).

Två tidsperioder undersöks, vilka båda ligger under den kalla delen av året. Förhoppningen är att detta skall minska inflytandet av vädring, vilket dock fortfarande kommer att utgöra en osäkerhetsfaktor. Resultatet redovisas i Avnitt 3.3.

#### 2.4.2 Beräkning av personnärvaro med hjälp av koldioxidmätningar

För att beräkna antalet personer används ekvation 1 samt ekvation 2.

$$C_p = (C_{in} - C_{out}) \cdot q \quad [l/s] \quad \text{Ekv. 1}$$

$$n = \frac{C_p}{c_p} \quad [-] \quad \text{Ekv. 2}$$

Där:

$C_p$  = Koldioxidproduktionen (l/s)

$C_{in}$  = Koldioxidhalten i frånluft (ppm)

$C_{out}$  = Koldioxidhalten i tilluft (ppm)

$q$  = Luftflöde (l/s)

$n$  = Antal personer

$c_p$  = Koldioxidproduktionen per person (l/s)

$C_{in}$  och  $C_{out}$  anges i ppm, parts per million, vilket anger ett förhållande mellan mängden koldioxid och övrig gas. Det betyder att värdet divideras med en miljon för att konvertera värdet till liter koldioxid, vilket sedan kan användas för att beräkna  $C_p$ , mängden koldioxid som produceras i byggnaden per sekund. Det kan nämnas att egna beteckningar införts, normalt brukar tilluften betecknas  $C_{in}$  och frånluften  $C_{out}$  eftersom en lokalvolym studeras. Det bör även nämnas att om det sker någon form av kortslutning mellan tilluften och frånluft på grund av luftvärmesystemet kan halten i frånluften bli lägre än i vistelsezonen. Eftersom personnärvaro-beräkningen baseras på den uppmätta halten i frånluften kan denna påverkas och då resultera i en för låg beräknad personnärvaro.

$C_{in}$  finns loggad i GQ30-01.  $C_{out}$  finns inte loggad direkt, men då det under längre tid inte uppehåller sig någon person i skolan klingar koldioxidmängden som loggas av och går mot ett värde runt 400 ppm vilket stämmer med de värden som anges i referenslitteratur. Detta värde antas för koldioxidhalten i tilluften.

Luftflödet  $q$  varierar och loggas som timvärde i GF72-01.

Koldioxidproduktionen per person,  $c_p$ , är en konsekvens av metabolismen som sker i kroppen varierar med avseende på aktivitetsgrad, ålder, kön och vikt. (Coley & Beisteiner, 2003) (Ruch & Patton, 1965) uppger dock att barn producerar 174% mer koldioxid i förhållande till sin kroppsvikt. Statistiska centralbyrån uppger medelvikten hos vuxna svenskar år 2008 till 74,8 kg (SCB, 2014).

(Silbernagel & Despopoulos, 2009) har angett den genomsnittliga koldioxidproduktionen vid olika aktivitetsgrader för vuxna (se Tabell 6).

Tabell 6. Koldioxidproduktion beroende på aktivitetsgrad enligt (Silbernagel &amp; Despopoulos, 2009).

Aktivitetsgrad	CO <sub>2</sub> per vuxenindivid (l/s)	CO <sub>2</sub> per kilo kroppsvikt (l/(s·kg))
Sovande	0,0028	0,000038
Sittande	0,0043	0,000058
Stående	0,0050	0,000067

För att kunna genomföra en beräkning baserad på koldioxidhalter antas ett genomsnittligt barn väga 40% av en genomsnittlig vuxen, det vill säga ca 30 kg. Ett förhållande mellan antalet vuxna och antalet barn behövs, varför beräkningen utförs i tre scenarier (se Tabell 7). Första scenariot antar att alla personer i byggnaden är vuxna, vilket är mindre troligt men genomförs som en kontroll. Andra scenariot antar att alla personer i byggnaden är barn som väger 30 kg, men har 174% högre koldioxidproduktion i förhållande till sin kroppsvikt. Tredje scenariot antar att det går en vuxen (anställd) på fem barn (elever). Detta scenario kallas "Ratio 1:5". Samtliga personer i byggnaden uppehåller sig sittande 80% av tiden, resterande tid stående.

Tabell 7. Sammanställning av scenarion samt beräknad koldioxidproduktion per person baserad på aktivitetsgrad och vikt.

Scenario	Beteckning	CO <sub>2</sub> -produktion per individ (l/s)	Antaganden
1	$c_p$ vuxen	0,0045	80% sittande, 20% stående
2	$c_p$ barn	0,0028	80% sittande, 20% stående, korrigerat med 174%
3	$c_p$ ratio	0,0030	Likt 1 & 2. Förhållande vuxna:barn 1:5

De två perioder som valts för analys av koldioxidmätningar är tagna från den kalla delen av året eftersom det då antas förekomma mindre vädring.

Antalet personer som uppehåller sig i byggnaden studeras och redovisas som max, min och medelvärde. Vidare redovisas även hur personbelastningen varierar över ett medeldygn samt över en medelveck. För resultat se Avsnitt 3.4.

### 2.4.3 Beräkning av temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat

Byggnaden har ett luftburet uppvärmningssystem och är därför beroende av värmeväxlaren för att upprätthålla sitt termiska klimat. Därför är det under den kalla delen av året, då värmetransmissions- och ventilationsförsluter är som störst intressant att undersöka värmeväxlarens prestanda.

Värmeväxlarens prestanda bestäms genom beräkning av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad. Temperaturverkningsgraden beskriver hur stor andel av den erhållna temperaturändringen hos ett flöde är jämfört med den största möjliga temperaturändringen (Jensen, 2007).

I en roterande värmeväxlare sker värmeväxling mellan tilluftsflödet och frånluftsflödet. Temperaturverkningsgrad för respektive flöden beräknas enligt följande uttryck:

$$v_{till} = \frac{T_{till} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} \quad [-] \quad \text{Ekv. 3}$$

$$v_{från} = \frac{T_{från} - T_{av}}{T_{från} - T_{ute}} \quad [-] \quad \text{Ekv. 4}$$

$T_{till}$  = temperatur efter värmeåtervinning

$T_{ute}$  = uteluftstemperatur

$T_{av}$  = avluftstemperatur

$T_{från}$  = frånluftstemperatur

Temperaturverkningsgraden för till- och frånluftsflöde har ett samband med sina respektive volymflöden. Sambandet gäller om luftdensiteten för olika temperaturer antas vara samma (Jensen, 2007):

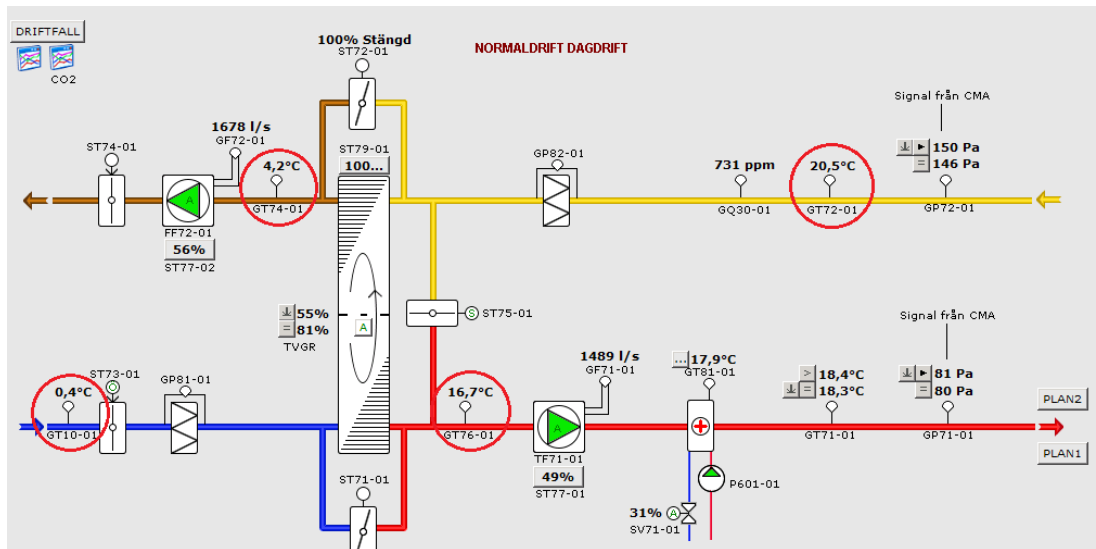
$$v_{till}q_{till} = v_{från}q_{från}$$

Utifrån det kan temperaturverkningsgraden för frånluftsflöde uttryckas som:

$$v_{från} = v_{till} \frac{q_{till}}{q_{från}} \quad [-] \quad \text{Ekv. 5}$$

För beskrivning av objektets ventilationssystem se Avsnitt 2.1.4. Temperaturverkningsgraden beräknas med hjälp av loggad data från fyra temperaturgivare (se Tabell 8 och Figur 20).

Temperaturer registreras momentant en gång i timme, vilket innebär att temperaturverkningsgrad kan beräknas timvis.



Figur 20. Schemat över allmän ventilation, där placeringen av temperaturgivare intill värmeväxlaren är markerad. Utdrag från DiaBild 3000.



Tabell 8. Aktuella givare vars mätdata används till beräkning av temperaturverkningsgraden.

Temperatur	Givare
$T_{till}$	GT76-01
$T_{ute}$	GT10-01
$T_{av}$	GT74-01
$T_{från}$	GT72-01

För att studera hur värmeväxlingen fungerar när det behövs som mest begränsas analysen av data till dagdriften, det vill säga under vardagar klockan 08.00-18.00.

Placering av temperaturgivarna redovisas i Figur 20. I samband med objektbesök den 28/2-14 har mätarnas placering kontrollerats. Det har verifierats att mätarnas positioner stämmer med schemat i Figur 20. Det har även konstaterats att givaren för utelufttemperatur, GT10-01, är placerad inomhus, vilket betyder att denna givare inte kan användas för mätning av utelufttemperatur vid nattdriften, när 100% återluft används.

Temperaturmätning av tilluft och avluft sker i direkt anslutning till värmeväxlaren, d.v.s. innan deras respektive avlufts- och frånluftsfläkt. Detta ger bra förutsättningar för ett mer korrekt resultat då luftens temperaturökning orsakad av fläkten inte påverkar beräkningen av temperaturverkningsgraden.

Över värmeväxlaren finns två stycken synkroniserade förbigångsspjäll, ST72-01 samt ST71-01. Dessa spjäll har till uppgift att anpassa luftflöden genom värmeväxlaren för att minska tryckfallet genom denna. Öppningsgraden på dessa spjäll varierar mellan 60% och 100%, där 100% betyder att spjället är helt stängt. Vid helt stängt läge på spjällen utnyttjas värmeväxlingen maximalt, då ingen ouppvärmad uteluft blandas med tilluften. För att undersöka hur spjällens öppningsgrad påverkar systemets temperaturverkningsgrad görs en graf, där temperaturverkningsgrad för tilluftsflödet plottas mot spjällets öppningsgrad. För varje studerad period och spjällläge beräknas även temperaturverkningsgradens medelvärde. Då kan en slutsats hurvida spjällens läge ska beaktas vid beräkningen av temperaturverkningsgraden eller inte dras.

De beräknade momentana temperaturverkningsgrader för till- respektive frånluftsflöde för de tre studerade mätperioderna redovisas grafiskt samt som medelvärden för respektive mätperioder. Ett varaktighetsdiagram över timvis beräknade temperaturverkningsgrader tas även fram. Varaktigheten baseras på de tre mätperioderna sammanlagt och avser vardagar mellan kl.08 och kl.18. Resultaten redovisas i Avsnitt 3.5.

## 2.5 Beräkning av ett genomsnittligt U-värde

Utformningen på det aktuella ventilationssystemet samt dess driftförhållanden ger möjlighet att beräkna ett genomsnittligt U-värde för hela klimatskärmen. Metoden utnyttjar det faktum att uppvärmning av byggnaden mellan klockan 19.00 och klockan 07.00 sker med hjälp av eftervärmad återluft. Dessutom är byggnaden mycket tät, vilket minimerar inflytandet av okontrollerat läckage. Det innebär att om det finns en registrerad skillnad mellan till- och frånluftstemperatur under natten, kan denna användas för uppskattning av transmissionsförlusterna, varvid ett genomsnittligt U-värde kan beräknas. De bufferteffekter som uppkommer med värmelagringen i konstruktionen kan metoden dock inte ta hänsyn till.

Byggnadens värmebalans ges vid stationära förhållanden av uttrycket (Warfvinge, 2003):

$$P_t + P_{läck} + P_v = P_w + P_s + P_g \quad [W]$$

Där:

$P_t$  = transmissionsförluster (W)

$P_{läck}$  = förlust i värmeeffekt p.g.a. okontrollerad ventilation (W)

$P_v$  = förlust i värmeeffekt p.g.a. kontrollerad ventilation (W)

$P_w$  = tillförd värmeeffekt via värmesystem (W) (via tempererad tilluft i detta fall)

$P_s$  = tillförd värmeeffekt via solstrålning (W)

$P_g$  = tillförd "gratis" värmeeffekt p.g.a. intern värme (W)

Under förutsättning att markens temperatur antas vara samma som utetemperaturen, antas värmeförlusten mot mark vara lika med värmeförlusten genom övriga konstruktionsdelar. Transmissionsförlusterna kan därför beräknas enligt:

$$P_t = U_{medel} A_{om} (T_{från} - T_{ute})$$

Enligt bygghandlingarna har klimatskalets lufttäthet verifierats genom en mätning och mättes till 0,14 l/(s · m<sup>2</sup>) omslutande area vid 50 Pa tryckskillnad. Detta luftflöde kan räknas om till luftläckage vid ett normalt tryckförhållande genom att uppskatta läckageflödet till 5% av det uppmätta flödet vid 50 Pa tryckskillnad (Johansson, 2005). För klimatskal med en omslutande area på 4596 m<sup>2</sup> (se Tabell 23 i Avnitt 3.6) blir läckageflödet  $P_{läck}$ :  $0,05 \cdot \frac{0,14}{1000} \cdot 4596 = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ . På grund av sin lilla storlek i förhållande till tilluftsflödet (se Tabell 23 i Avnitt 3.6) försummas luftläckaget i beräkningen.

Under nattiden ventileras byggnaden med återluft, vilket betyder att inga förluster p.g.a. kontrollerad ventilation teoretiskt sett skall förekomma. Inte heller något värmetillskott i form av solstrålning eller värme från människor finns på natten. Detta innebär att både  $P_v$ ,  $P_s$  och  $P_g$  är lika med noll.

Tillförd värmeeffekt via ventilationssystem är:

$$P_w = q_{till} c_{p,luft} \rho_{luft} (T_{till} - T_{från})$$

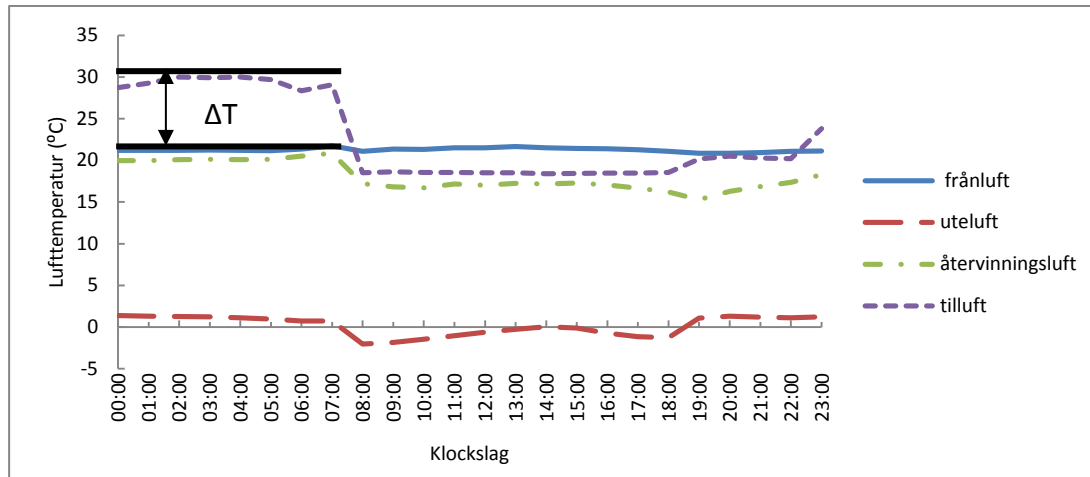
Med alla antaganden ovan kan byggnadens värmebalans uttryckas:

$$U_{medel} A_{om} (T_{från} - T_{ute}) = q_{till} c_{p,luft} \rho_{luft} (T_{till} - T_{från})$$

Ekvationen löses med avseende på  $U_{medel}$ :

$$U_{medel} = \frac{q_{till} c_{p,luft} \rho_{luft} (T_{till} - T_{från})}{A_{om} (T_{från} - T_{ute})} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad \text{Ekv.6}$$

Temperaturskillnad mellan till- och frånluften under natttiden studeras för enskilda dagar. Temperaturvariation under en dag kan exempelvis se ut som i Figur 21.



Figur 21. Temperaturvariation under en enskild dag för de olika luftströmningsflödena.  $\Delta T$  är temperaturskillnaden mellan tilluft och frånluft som förekommer under natten.

Temperaturskillnaden och tilluftsflödet mellan klockan 00.00 och klockan 06.00 för tio slumpmässigt utvalda enskilda dagar studeras. Byggnadens genomsnittliga U-värde beräknas som ett medeltal av erhållna U-värden. För resultat se Avsnitt 3.6.

## 2.6 Undersökning av tappvarmvattens temperatur

Under ett tidigt skede av fallstudien upptäcktes indikationer på att tappvarmvattnets temperatur i det cirkulerande systemet var för låg. Med avseende på risken för tillväxt av legionella undersöks systemets temperatur.

Temperaturen på framledning liksom returledning loggas automatiskt av den datoriserade undercentralen med en timmes intervall. I samband med objektbesök den 28/02-14 har mätarnas placering kontrollerats. Användningen av varmvatten loggas också, men med en dags intervall. Uppmätta värden för temperatur är momentana och gäller just för den exakta tidpunkten för mätningen. Då det endast loggas en gång per timma, får detta värde dock antas vara representativt för hela den timmen.

Framlednings- respektive returtemperatur undersöks för att kunna beräkna hur stor del av tiden temperaturen i respektive del av systemet är lägre än 50°C, vilket redovisas i ett varaktighetsdiagram.

Eftersom det kan bli relevant att höja temperaturen i systemet om den visar sig för låg, kommer mängden varmvatten som använts under år 2013 mätas. Det för att kunna genomföra en energiberäkning för hur stort tillskott till den specifika energianvändningen en justering av tappvarmvattnets temperatur skulle innebära. Resultaten presenteras i Avsnitt 3.7.

### 3 Resultat och analys

#### 3.1 Byggnadens specifika energianvändning

##### 3.1.1 Uppmätt energianvändning

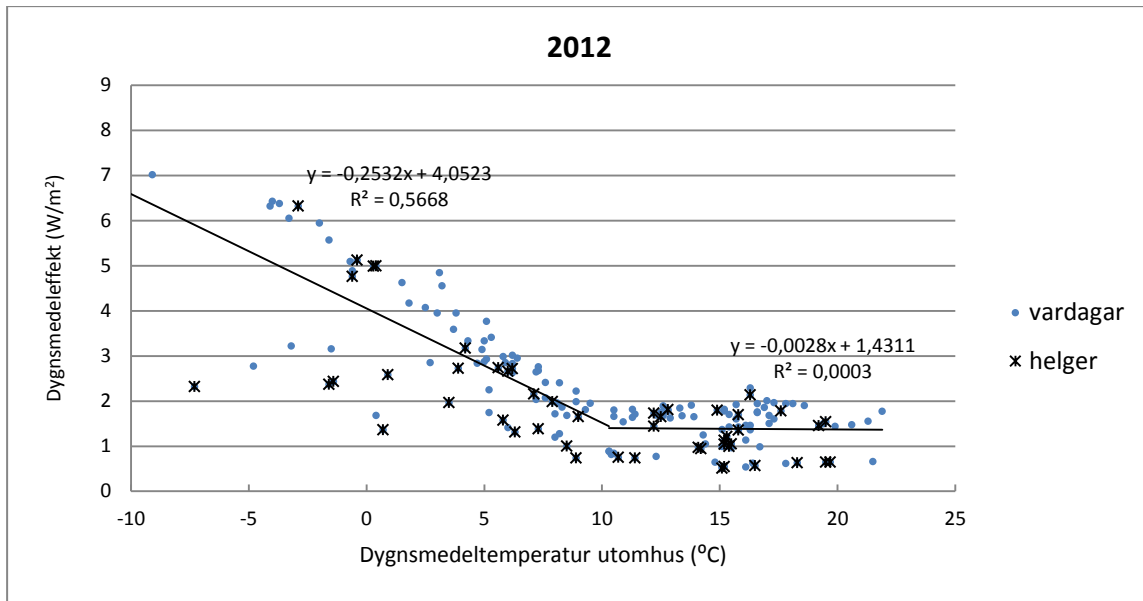
Loggad mätdata gällande byggnadens energianvändning under år 2012 och 2013 redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Månadsvis sammanställning av byggnadens uppmätta energianvändning för år 2012 och 2013 (ej normalårskorrigerad).

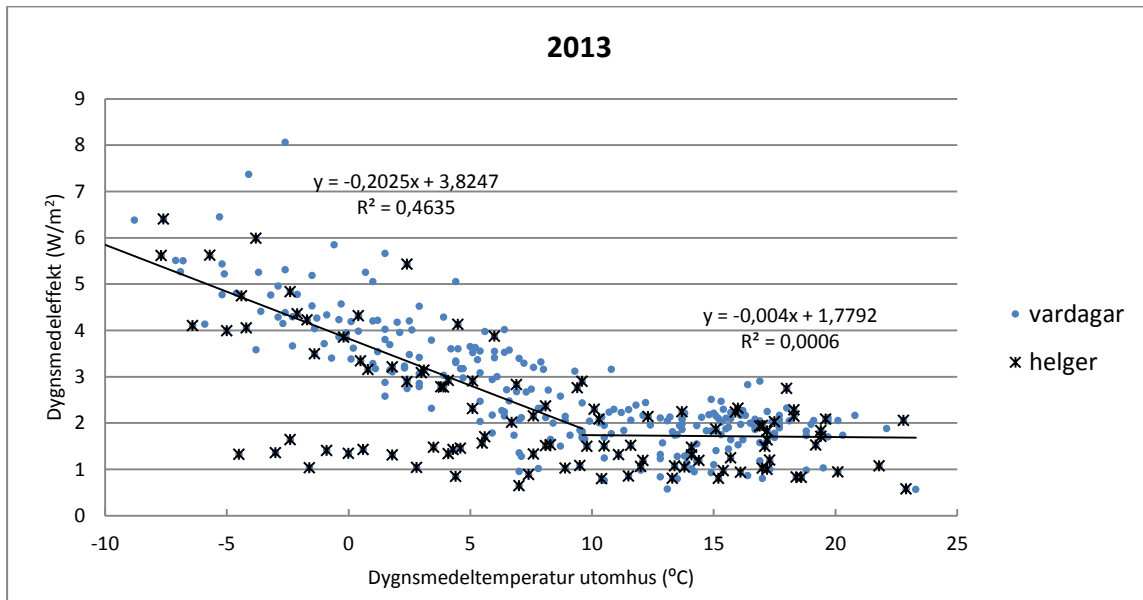
Månad	2012		2013	
	Fjärrvärme till spetsvärme och tappvarmvatten (EM60-01-kWh)	Fastighetsel (EM80-01-kWh)	Fjärrvärme till spetsvärme och tappvarmvatten (EM60-01-kWh)	Fastighetsel (EM80-01-kWh)
Jan	3410	3831	6960	2963
feb	3780	3139	7700	2974
mar	6720	4475	5820	2925
apr	3010	2728	5360	2352
maj	2070	2023	2480	2275
juni	820	2711	880	2811
juli	440	2240	460	2781
aug	310	2281	460	2994
sep	450	2776	540	3404
okt	650	2559	1440	3136
nov	1530	2581	1730	2572
dec	2690	2880	2950	2532
<b>Totalt (kWh/år)</b>	<b>25880</b>	<b>34223</b>	<b>36780</b>	<b>33719</b>
<b>Totalt (kWh/(m<sup>2</sup>·år))</b>	<b>8,7</b>	<b>11,5</b>	<b>12,4</b>	<b>11,4</b>

Icke normalårskorrigerade specifika energianvändningen är 20,2 kWh/(m<sup>2</sup>·år) och 23,7 kWh/(m<sup>2</sup>·år) för år 2012 och 2013 respektive.

Byggnadens effektsignatur för år 2012 och 2013 redovisas i Figur 22 och Figur 23.



Figur 22. Byggnadens effektsignatur för 2012 baserad på dygnsmedelvärden, inklusive helgdagar.



Figur 23. Byggnadens effektsignatur för 2013 baserad på dygnsmedelvärden, inklusive helgdagar.

Utifrån regressionslinjens ekvation kan utetemperaturberoende medeleffekten för år 2012 och 2013 uttryckas som:

$$W_{medel,2012} = -0,25 \cdot t_{ute} + 4,05$$

$$W_{medel,2013} = -0,20 \cdot t_{ute} + 3,82$$

Som det ses i regressionslinjernas ekvationer skiljer effektsignaturer för år 2012 och 2013 sig något. Denna skillnad kan framför allt bero på olika antal mätdata som använts för beräkningen. För år 2012 saknas mätdata för det första halvåret, vilket skulle kunna leda till att regressionslinjens ekvation för detta år ser annorlunda ut än för år 2013. Olika grad av solinstrålningen, brukarnas beteende samt felmätningar skulle också kunna leda till skillnaden i effektsignaturerna. Solinstrålningens påverkan diskuteras mer ingående senare i detta kapitel.

Balanstemperaturen anges av skärningspunkten mellan den lutande och horisontella linjen och beräknats till 10,5°C och 10,3°C för år 2012 och 2013 respektive. Balanstemperaturen beror på klimatskärmens isoreringsförmåga samt den interna värmealstringen. Om dessa faktorer varit samma under de två åren, ska balanstemperaturen ligga på ungefär samma nivå för de båda tidsperioderna.

Klimatberoende delen av effektbehovet, d.v.s. den effekt som åtgår till byggnadens ytterbelysning och tappvarmvatten, är 1,4 W/m<sup>2</sup> för år 2012 och 1,8 W/m<sup>2</sup> för år 2013.

i Figur 22 och Figur 23 kan en viss spridning i effekt vid samma utetemperatur urskiljas. En mängd mätpunkter markerade med stjärnor presenterar mätvärden för helgdagar samt när skolan är stängd och lägre inomhustemperaturer accepteras. Detta kan förklara en rad låga värden för effektbehov vid låga utetemperaturer som tydligt ses i Figur 23. Medan skillnaden i effektbehovet under helgen är svår att kartlägga kan det antas att viss vädring hade förekommit under vardagar vilket skulle kunna leda till högre medeleffekt. En överslagsberäkning visar att luftvolym som värms upp av den extra effekten på 3 W/m<sup>2</sup> vid utetemperaturen på - 2,6°C ger upphov till en luftomsättning på ca 3,5 h<sup>-1</sup> under antagandet att all vädring sker i tre klassrum. Beroende på hur många klassrum som faktiskt vädras under ett dygn kan byggnadens effektbehov variera, vilket ses som spridningen i effektsignaturen. Solinstrålningens och vindens påverkan på effektbehovet studeras senare i kapitlet.

Normalårskorrigerad genomförs månadsvis för år 2012 och 2013 (Tabell 10 och Tabell 11).

**Tabell 10. Normalårskorrigerad med hjälp av effektsignaturmetoden för 2012. För beräkning av B och C används ekvationen för  $W_{medel, 2012}$ .**

Månad	Uppmätt månadsmedel utetemperatur (°C)	Normal-månads utetemperatur (°C)	Antal dagar per månad	A, verklig medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	B, förväntat medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	C, förväntad korrigerad medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	D=A/B·C, korrigerad medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	Korrigerad energianvändning (kWh/(m <sup>2</sup> ·mån))
Jan	1,5	-0,20	31	3,28	3,67	4,10	3,66	2,72
feb	-2,2	-0,60	29	3,35	4,60	4,20	3,06	2,13
mar	5,1	1,90	31	5,07	2,77	3,58	6,54	4,86
apr	6,2	5,20	30	2,68	2,51	2,75	2,94	2,12
maj	12,8	10,90	31	1,85	0,86	1,33	2,87	2,13
juni	13,3	14,60	30	1,65	0,73	0,40	0,91	0,65
juli	17,0	16,00	31	1,21	-0,19	0,05	-0,32	-0,24
aug	17,1	15,70	31	1,17	-0,23	0,13	-0,63	-0,47
sep	13,7	12,20	30	1,51	0,62	1,00	2,45	1,76
okt	8,7	8,70	31	1,45	1,87	1,88	1,45	1,08
nov	6,0	4,10	30	1,92	2,54	3,03	2,29	1,65
dec	-1,0	1,60	31	2,52	4,30	3,65	2,14	1,59
							Summa	<b>20,0 kWh/(m<sup>2</sup>·år)</b>

## Resultat och analys

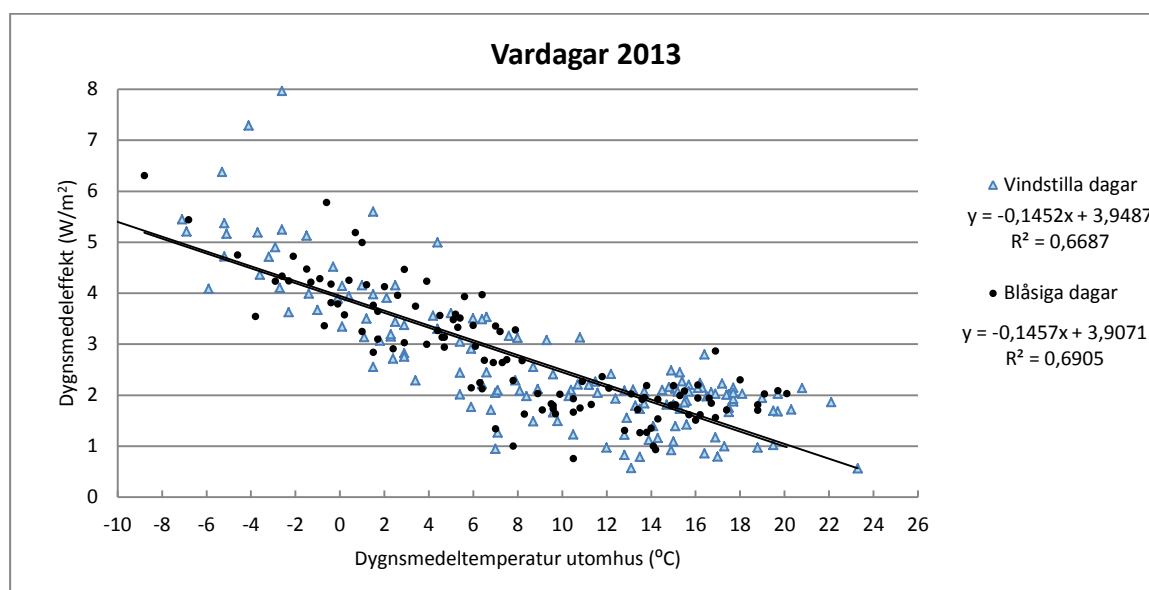
**Tabell 11. Normalårskorrigerig med hjälp av effektsignaturmetoden för 2013. För beräkning av B och C används ekvationen för  $W_{medel, 2013}$ .**

Månad	Uppmätt månadsmedel utetemperatur (°C)	Normal-månads utetemperatur (°C)	Antal dagar per månad	A, verklig medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	B, förväntat medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	C, förväntad korrigerad medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	D=A/B-C, korrigerad medeleffekt (W/m <sup>2</sup> )	Korrigerad energianvändning (kWh/(m <sup>2</sup> ·mån))
Jan	-1,13	-0,20	31	4,49	4,05	3,86	4,28	3,19
feb	-1,08	-0,60	28	5,35	4,04	3,94	5,22	3,51
mar	-1,17	1,90	31	3,96	4,05	3,44	3,36	2,50
apr	5,74	5,20	30	3,61	2,67	2,78	3,75	2,70
maj	12,93	10,90	31	2,15	1,23	1,64	2,86	2,13
juni	15,54	14,60	30	1,73	0,71	0,90	2,18	1,57
juli	17,87	16,00	31	1,47	0,25	0,62	3,71	2,76
aug	17,20	15,70	31	1,56	0,38	0,68	2,79	2,08
sep	13,18	12,20	30	1,84	1,18	1,38	2,15	1,55
okt	10,46	8,70	31	2,07	1,73	2,08	2,49	1,85
nov	5,91	4,10	30	2,01	2,64	3,00	2,29	1,65
dec	4,56	1,60	31	2,48	2,91	3,50	2,99	2,22
							Summa	<b>27,7 kWh/(m<sup>2</sup>·år)</b>

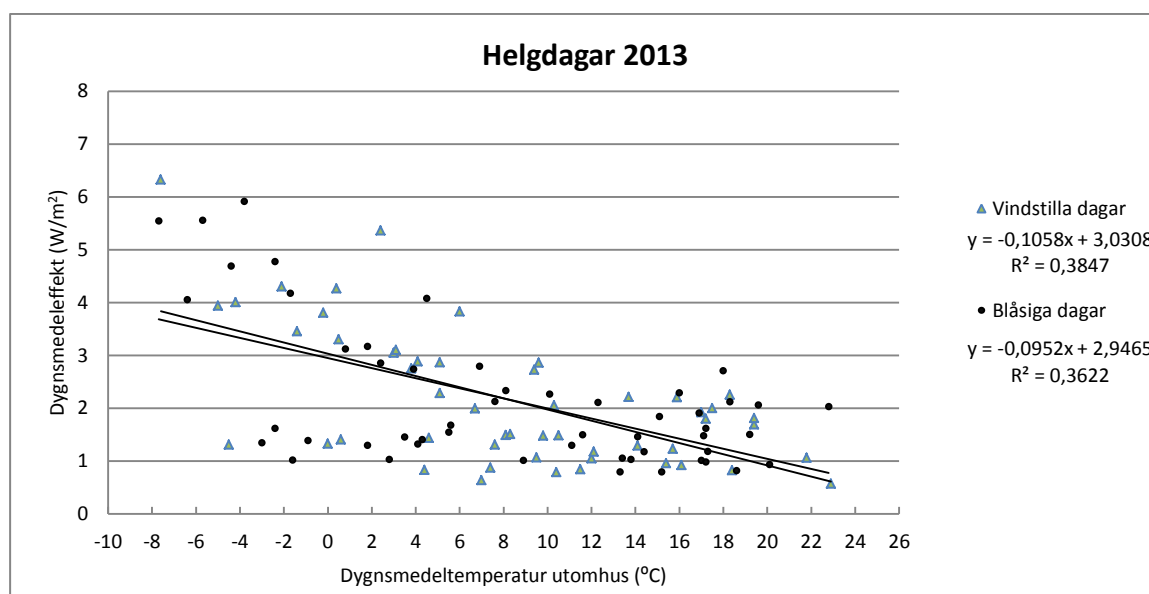
Den normalårskorrigerade energianvändningen för år 2012 är 20,0 kWh/(m<sup>2</sup>·år) medan den för år 2013 är 27,7 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Det projekterade värdet är 42 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Energimässigt presterar byggnaden alltså ca 53% bättre än projekterat år 2012. För 2013 är motsvarande siffra 34%. De möjliga orsakerna till denna skillnad diskuteras i Avsnitt 3.8.

### 3.1.2 Utomhusklimatets påverkan på effektbehovet

Nedan presenteras dygnsmedeleffekt för vardagar och helgdagar år 2013 som funktion av dygnsmedeltemperatur utomhus för vindstilla/blåsiga dagar.



Figur 24. Dygnsmedeleffekt redovisad i W/m<sup>2</sup> plottat mot dygnsmedeltemperatur utomhus i °C för vindstilla och blåsiga vardagar. För vindstilla dagar gäller vindhastigheter lägre än 3,4 m/s i dygnsmedelvärdet medan blåsiga dagar definieras av vindhastigheter över 3,4 m/s. Mätperioden omfattar hela 2013. Regressionslinjens ekvation samt residualvärde redovisas för respektive typ av dag.



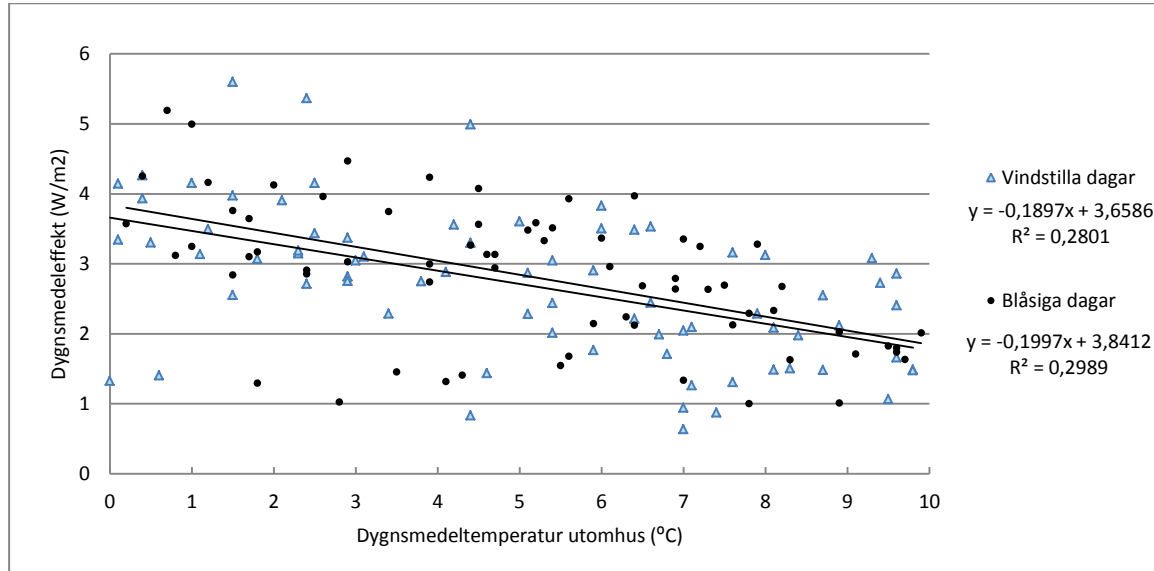
Figur 25. Dygnsmedeleffekt redovisad i W/m<sup>2</sup> plottat mot dygnsmedeltemperatur utomhus i °C för vindstilla och blåsiga helgdagar. För vindstilla dagar gäller vindhastigheter lägre än 3,4 m/s i dygnsmedelvärdet medan blåsiga dagar definieras av vindhastigheter över 3,4 m/s. Mätperioden omfattar hela 2013. Regressionslinjens ekvation samt residualvärde redovisas för respektive typ av dag.

I Figur 24 och Figur 25 ses att blåsiga och vindstilla dagar förekommer under hela spektrumet av utetemperaturer. Regressionslinjernas ekvationer stämmer bra överrens mellan de vindstilla och blåsiga dagarna både för vardagar och helgdagar. Det tyder på att vinden inte påverkar byggnadens effektbehov, vilket bekräftar betydelsen av god lufttäthet hos klimatskärmen. Utifrån



regressionslinjernas ekvation ses även att effektbehovet under helgdagar har varit något lägre än under vardagar.

Effektsignatur för utetemperatur mellan 0°C och 10°C uppdelad på vindstilla och blåsiga dagar redovisas i Figur 26.



Figur 26. Effektsignatur uppdelad på vindstilla och blåsiga dagar. Effektsignaturen baseras på mätdata för 2013, inklusive helgdagar samt för dygsmedeltemperatur mellan 0°C och 10°C. Regressionslinjens ekvation samt residualvärde redovisas för respektive typ av dag

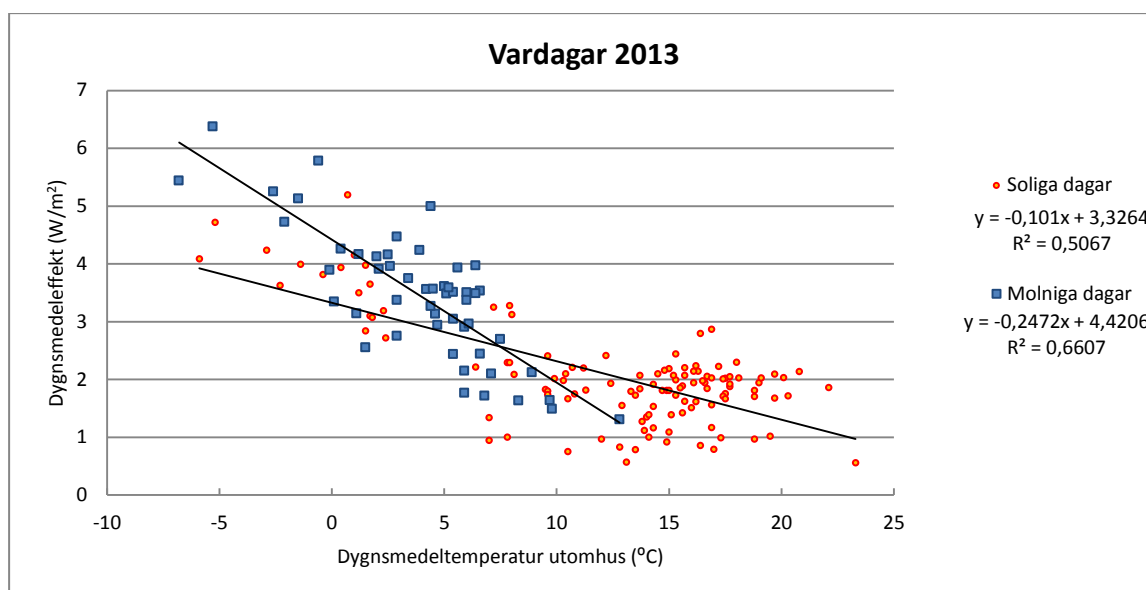
Regressionslinjernas ekvationer är:

$$W_{medel,vindstilla} = -0,19 \cdot t_{ute} + 3,66$$

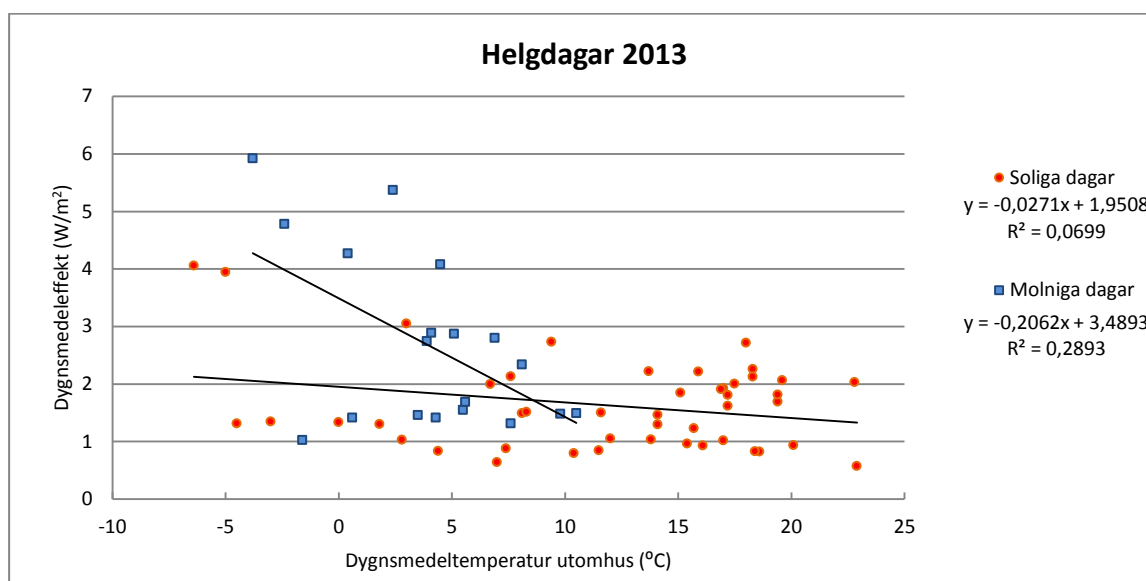
$$W_{medel,blåsigt} = -0,20 \cdot t_{ute} + 3,84$$

Utifrån regressionslinjernas ekvation framgår det att skillnaden mellan effektbehov för vindstilla och blåsiga dagar är ca 0,2 W/m<sup>2</sup>, vilket är litet i relation till det totala effektbehovet. Detta styrker resonemanget ovan om att byggnadens effektbehov är oberoende av vindhastigheten.

I Figur 27 och Figur 28 visas byggnadens dygsmedeleffekt för vardagar och helgdagar 2013 som funktion av dygsmedeltemperatur utomhus för soliga/molniga dagar.



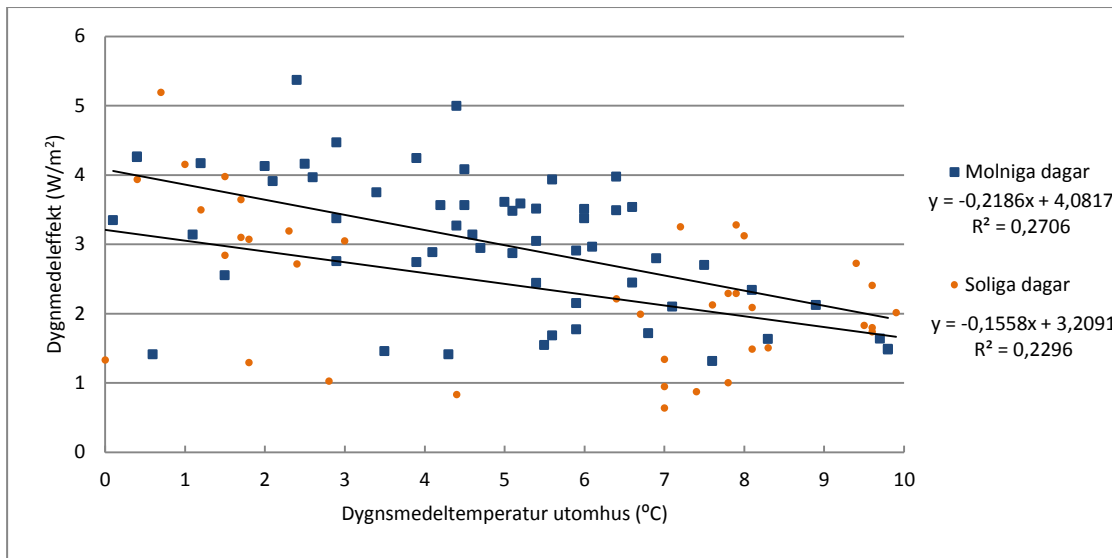
Figur 27. Dygnseffekt redovisad i  $W/m^2$  plottat mot dygnstemperatur för molniga och soliga vardagar. Molniga dagar definieras som dagar med den globala irradiansen under  $500 Wh/m^2$  i ackumulerat värde under dygnet. För soliga dagar har den globala irradiansen bestämts ligga över  $3000 Wh/m^2$ . Dagar vars globala irradians ligger i intervallet mellan  $500-3000 Wh/m^2$  redovisas ej i grafen. Mätperioden omfattar hela 2013. Regressionslinjerna, deras ekvationer samt residualvärden redovisas för respektive typ av dag.



Figur 28. Dygnseffekt redovisad i  $W/m^2$  plottat mot dygnstemperatur för molniga och soliga helgdagar. Molniga dagar definieras som dagar med den globala irradiansen under  $500 Wh/m^2$  i ackumulerat värde under dygnet. För soliga dagar har den globala irradiansen bestämts ligga över  $3000 Wh/m^2$ . Dagar vars globala irradians ligger i intervallet mellan  $500-3000 Wh/m^2$  redovisas ej i grafen. Mätperioden omfattar hela 2013. Regressionslinjerna, deras ekvationer samt residualvärden redovisas för respektive typ av dag.

Ur Figur 27 och Figur 28 framgår att varma dagar var även soliga dagar. Figurerna visar att byggnadens medeleffektbehov generellt är lägre för soliga än för molniga dagar vid lägre utetemperaturer. Att det finns ett samband mellan förekomsten av sol och effektbehovet ses även hos regressionslinjerna, vilka inte sammanfaller. Koefficienterna i regressionslinjernas ekvationer visar även att byggnadens effektbehov under helgdagar har varit lägre än under vardagar, vilket är förväntat.

För att undersöka solinstrålningens påverkan på effektbehovet studeras byggnadens effektsignatur för utetemperatur mellan 0°C och 10°C, se Figur 29.



**Figur 29. Effektsignatur uppdelad på molniga och soliga dagar. Effektsignaturen baseras på mätdata för 2013, inklusive helgdagar samt för dygnsmedeltemperatur mellan 0°C och 10°C. Regressionslinjerna, deras ekvationer samt residualvärden redovisas för respektive typ av dag.**

De erhållna regressionslinjernas ekvationer är:

$$W_{medel,moln} = -0,22 \cdot t_{ute} + 4,08$$

$$W_{medel,sol} = -0,16 \cdot t_{ute} + 3,21$$

Enligt regressionslinjernas ekvationer är byggnadens effektbehov ca 0,9 W/m<sup>2</sup> mindre en solig dag jämfört med en molnig dag. Uppvärmningsbehovet råder när dygnsmedeltemperatur utomhus är lägre än byggnadens balanstemperatur. Under år 2013 har det varit 49 soliga dagar vars dygnsmedeltemperatur var lägre än balanstemperaturen på 10,3°C. En uppskattning av tillgodosedd energi från solinstrålningen kan därmed beräknas som:  $0,9 \cdot 24 \cdot 201 = 1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ , vilket utgör  $\frac{1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})}{27,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})} \approx 4\%$  av den specifika energianvändningen.

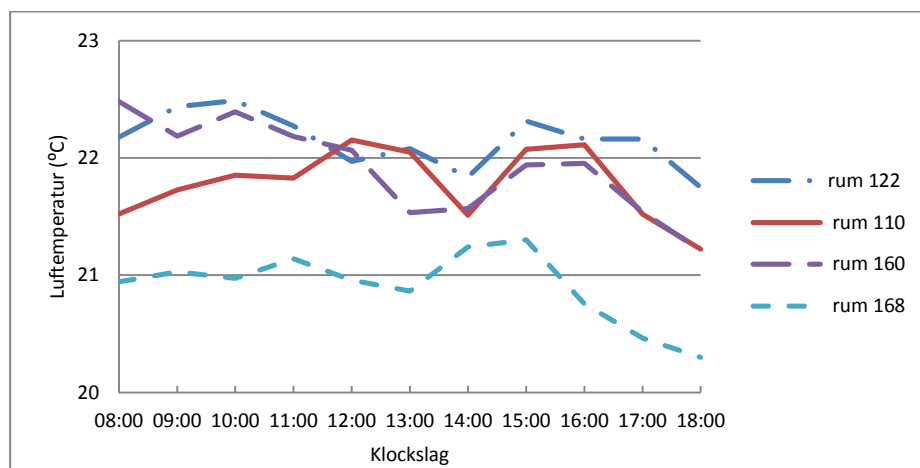
Analysen av effektbehovets beroende av vinden har visat att vindens påverkan inte kan förklara spridningen i effektbehov vid samma utetemperatur. Däremot tyder resultatet på att solinstrålning kan ha viss inverkan på denna skillnad. Ur Figur 22 och Figur 23 ses att spridningen är ungefär lika stor både under och utanför uppvärmningssäsongen, vilket kan indikera att spridningen har en brukarrelaterad orsak. Dessa kan till exempel vara varierande internt värmetilskott eller vädring.

## 3.2 Lufttemperatur inomhus

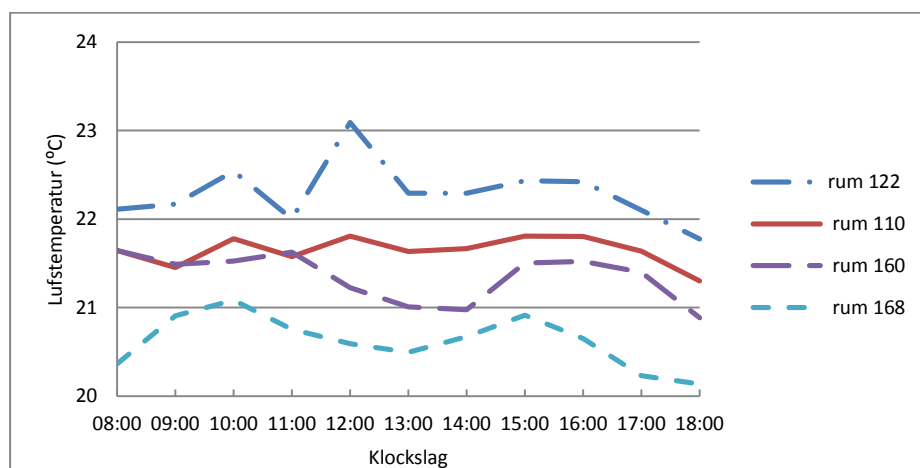
### 3.2.1 Lufttemperatur i några utvalda rum med avseende på orientering

#### Lufttemperatur på plan 1

I Figur 30 och Figur 31 presenteras lufttemperaturer under en medeldag för två olika kalla tidsperioder. Mätdata har erhållits från i tilluftsdonets integrerade temperaturgivare.



Figur 30. Lufttemperatur för fyra rum på plan 1, medeldag för perioden från 2013-02-01 till 2013-02-28.



Figur 31. Lufttemperatur för fyra rum på plan 1, medeldag under perioden från 2013-11-25 till 2013-12-24.

Av Figur 30 och Figur 31 framgår att den eftersträvade temperaturen på 22°C efter nattuppvärmningen inte alltid uppfylls. Efter nattuppvärmningen tenderar temperaturen att sjunka fram till eftermiddagen (klockan 13.00) då den ökar något för att därefter klinga av mot dagens slut. Denna avklining inträffar vid klockan 16.00 när barnen och personalen börjar gå hem. Temperatursänkningen klockan 10.00 kan förklaras med att alla barnen tar en 20 minuters lång gemensam rast klockan 09.30. Under dessa tidpunkter sjunker internvärmens vilket leder till lägre inomhustemperaturer.

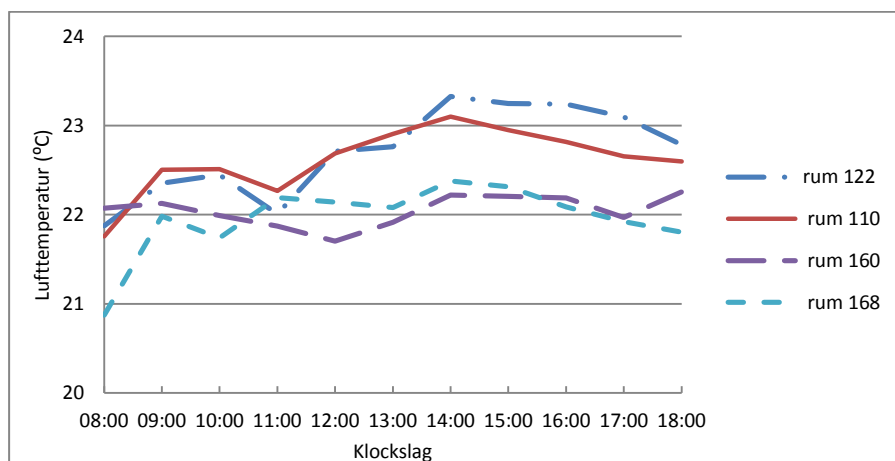
Av figurerna framgår även att det finns en temperaturskillnad på ca två grader mellan rummet med lägst temperatur, rum 168, och det rum med högst temperatur, rum 122. Medeltemperaturen för

rum 168 är 20,9°C för den första perioden och 20,6°C för den andra perioden. För rum 122 är medeltemperaturen 22,1°C och 22,3°C för respektive perioder.

Rum 110 och 160 har ungefär samma medeltemperatur på 21,8°C och 21,9°C respektive för den första perioden och 21,6°C samt 21,3°C för den andra perioden.

Det varmaste rummet, rum 122, ligger mitt i byggnaden och har södervända fönster. Resultatet för detta rum är därför förväntat. Däremot har det kallaste rummet, rum 168, som är ett hörnrum med ostligt vända fönster, förväntats ha högre lufttemperatur än rum 110, som också är ett hörnrum men med norrvända fönster. Förklaringen till varför rum 168 är svalare kan vara att det ligger tvärs mot över rum 165 som har ytterdörrar utan vindfång. Dessa dörrar hållas ofta öppna när de minsta barnen sover utomhus i barnvagnar och samtidigt skall övervakas av personalen. Den kalla uteluften kan då tränga in i rum 168 och sänka lufttemperaturen där. En undersökning av lufttemperatur i rum 165 vore önskvärt, då rummet mistänks vara ännu kallare än rum 168. Dock lämnas detta över till framtida studier.

Lufttemperaturerna i samma fyra rum på plan 1 för en medeldag under den varma delen av året redovisas i Figur 32.

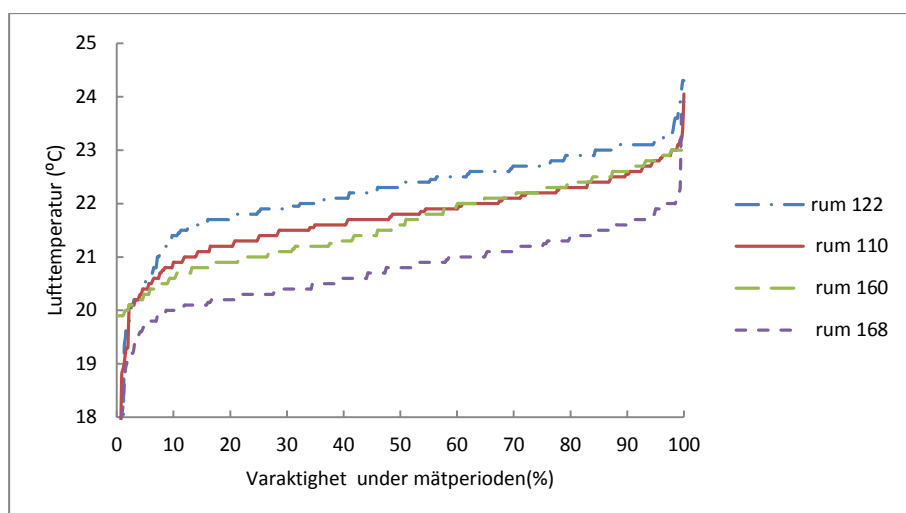


Figur 32. Lufttemperatur för fyra rum på plan 1, medeldag under perioden från 2013-08-19 till 2013-09-19.

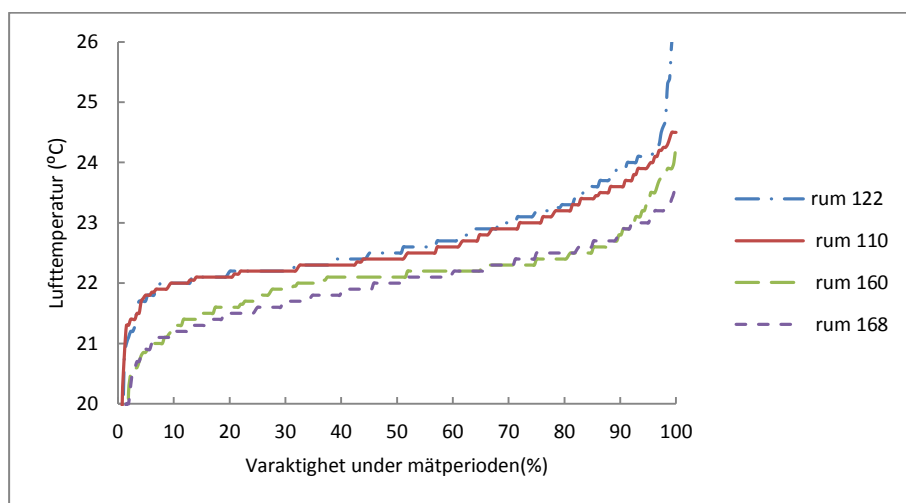
Spridningen mellan temperaturerna är mindre mellan olika rum under den varma perioden än under den kalla. Medeltemperaturen för det varmaste rummet, rum 122, är 22,7°C medan rum 160 och rum 168 har samma medeltemperatur på 22,0°C. För rum 110 är medeltemperaturen 22,6°C.

Ventilationssystemets reglerprogram är inställt för att kyla byggnaden ner till som lägst 21°C under nattetid. Den temperaturen nås inte för alla rum, men det syns att byggnaden startar dagen svalare än vad den var föregående kväll, då temperaturen på morgonen är lägre än på kvällen. Temperaturen stiger sedan gradvis under dagen, når sitt maximum vid kl. 14 för att sedan klinga av.

Varaktighetsdiagram för lufttemperaturer hos de fyra undersökta rummen för den kalla respektive den varma perioden presenteras i Figur 33 och Figur 34.



**Figur 33. Varaktighet för lufttemperaturer för fyra rum på plan 1 baserad på timvärden under de kalla perioderna (från 2013-02-01 till 2013-02-28 samt från 2013-11-24 till 2013-12-24), kl. 08 till kl. 18.**



**Figur 34. Varaktighet för lufttemperaturer för fyra rum på plan 1 baserad på timvärden under den varma perioden (från 2013-08-19 till 2013-09-19), kl. 08 till kl.18.**

Lufttemperaturen som eftersträvas är 23°C vintertid och 21°C sommartid enligt styrfunktioner.

Av Figur 33 framgår att lufttemperaturerna under 90% av den kalla perioden ligger under 21°C för det kallaste rummet, rum 168, och under 23°C för det varmaste rummet, rum 122. Medianvärdet ligger mellan 20°C och 22°C för rum 168 respektive rum 122. Det framgår att endast 5% av den kalla mätperioden uppnår vinterbörvärdet på 23 °C vilket bara gäller rum 122, resterande rum når bara denna temperatur under några få procentdelar av tiden. Skillnaden mellan den lägsta och högsta lufttemperaturen är ca 5 °C.

Enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om indikerande mätning bör lufttemperaturen ligga i intervallet 20-24°C vintertid. Om de uppmätta lufttemperaturerna ligger utanför detta intervall bör en utförlig mätning genomföras. Figur 33 visar att de uppmätta lufttemperaturerna till stor del ligger inom detta intervall. Rum 168 skiljer sig dock från de övriga rummen. För detta rum gäller att lufttemperaturen understiger 20°C under 10% av mätperioden.

Enligt rekommendation för utförlig mätning bör den operativa temperaturen vara minst 22°C för känsliga grupper enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd. Indikerande jämförelse mellan de erhållna lufttemperaturerna och rekommendationen för den operativa temperaturen, vilket har diskuterats i Avsnitt 2.3.1, tyder på att denna rekommendation kommer att följas under 60% av tidsperioden för rum 122, 30% av tiden för rum 110 och 160 samt bara 3% av tiden för rum 168. Vid antagande att resultatet av denna analys är representativt, kan det tyda på att det termiska klimatet vintertid på plan 1 inte är helt tillfredsställande.

Enligt Figur 34 ligger lufttemperaturerna över sommarbörvärdet på 21°C under 90-95% av den varma perioden för alla rum. Medianvärdet ligger på ca 22°C, med knappt 0,5°C spridning mellan de olika rummen. Under sommaren är indikerande värden för lufttemperatur enligt Folkhälsomyndigheten 20-26°C. Detta kommer att uppfyllas så gott som under nästan hela mätperioden för alla rum, med få timmar av under- och övertemperaturer.

Nedan presenteras de högsta och lägsta uppmätta lufttemperaturer under den kalla och varma perioden under verksamhetstiden tillsammans med information om väderlek enligt egen definition (se Tabell 12 och Tabell 13).

**Tabell 12. Sammanställning av de högsta och lägsta uppmätta timvisa lufttemperaturer för fyra rum på plan 1 samt den rådande väderleken för den aktuella dagen under den kalla perioden: 2013-02-01 till 2013-02-28 samt från 2013-11-24 till 2013-12-24, kl. 08 till kl. 18.**

Den högsta uppmätta lufttemperaturen för den kalla perioden								
Datum	Klockslag	rum 122	rum 110	rum 160	rum 168	T ute vid klockslaget enl. SMHI (°C)	Väderlek	
2013-02-15	13:00	21,8	22,8	21,4	23,9	0,9	ej vind	moln
2013-02-27	09:00	22,9	22,4	23,1	21,5	-2,2	ej vind	delvis mulen
2013-12-11	12:00	37,4	22,8	20,7	20,8	6,4	ej vind	moln
2013-12-13	08:00	24,3	24,1	21,6	20,8	4,9	ej vind	moln
Den lägsta uppmätta lufttemperaturen för den kalla perioden								
2013-02-11	13:00	19,8	20,1	19,9	19,2	-1,4	ej vind	delvis mulen
2013-02-22	12:00	16,5	21,6	21,9	20,2	-1,5	ej vind	delvis mulen
2013-02-25	14:00	21,4	16,15	21,6	21	4,1	ej vind	delvis mulen
2013-12-11	08:00	22,1	22	21,4	15,5	5,7	ej vind	moln

**Tabell 13. Sammanställning av de högsta och lägsta uppmätta timvisa lufttemperaturer för fyra rum på plan 1 samt den rådande väderleken för den aktuella dagen under den varma perioden: 2013-08-19 till 2013-09-19, kl. 08 till kl.18.**

Den högsta uppmätta lufttemperaturen för den varma perioden								
Datum	Klockslag	rum 122	rum 110	rum 160	rum 168	T ute vid klockslaget enl.SMHI (°C)	Väderlek	
2013-08-23	12:00	23,7	23,7	22,9	23,7	19,5	ej vind	sol
2013-08-27	14:00	24,6	24,5	22,5	23,1	21,0	ej vind	sol
2013-09-06	16:00	26,1	24,3	23,8	23,0	20,7	vind	sol
2013-09-06	18:00	25,3	24,2	25,0	23,0	17,3	vind	sol
Den lägsta uppmätta lufttemperaturen för den varma perioden								
2013-09-04	08:00	22,2	16,5	22,2	21,3	17,9	ej vind	sol
2013-09-05	11:00	22,4	22,3	16,6	21,7	17,8	ej vind	sol
2013-09-06	11:00	17,0	23,2	22,6	22,5	21,9	vind	sol
2013-09-18	08:00	21,8	22,1	22,1	15,5	9,7	ej vind	delvis mulen

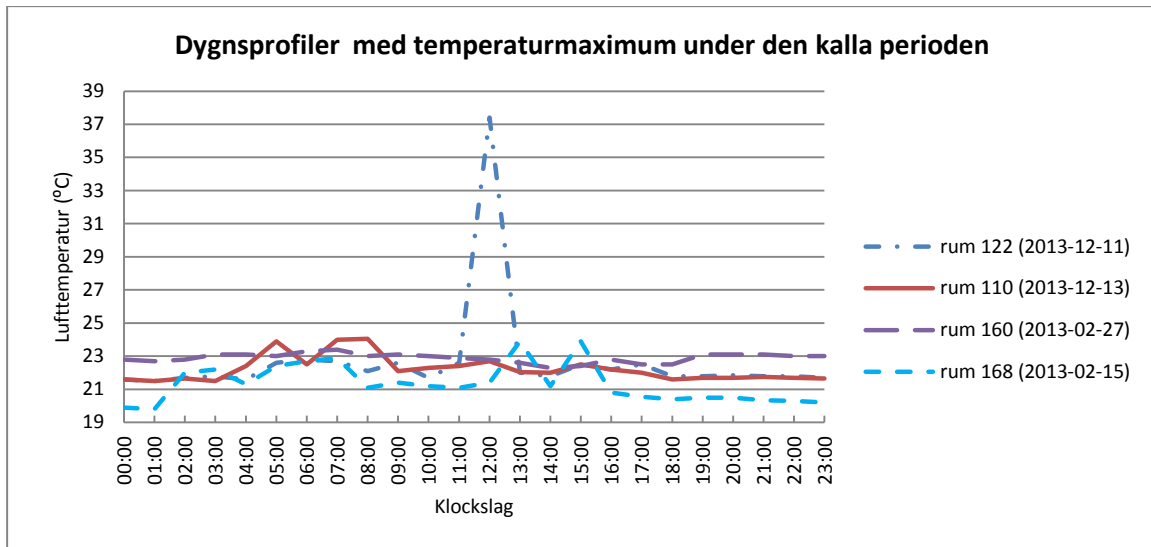
I Figur 12 ses att den högsta uppmätta temperaturen under den kalla delen av året var 37,4°C vilket är mycket högt. Flera olika situationer kan tänkas ha orsakat det höga mätvärdet. Lufttemperaturen registrerats klockan 12.00 den 11 december, så någon sorts av luciafirande med tända ljus kan tänkas ha pågått vid det tillfället. Ett annat alternativ kan vara en tillfällig dålig luftomblandning i rummet, varvid temperaturen av den varma tilluften har mätts. Bortsett från detta mätvärde ligger de maximala lufttemperaturerna kring 23-24°C. De lägsta lufttemperaturerna under den kalla perioden ligger i intervallet 15,5-19,9°C. Eftersom dessa lufttemperaturer är lägre än Folkhälsomyndighetens värden för indikerande mätning bör en mätning av den operativa temperaturen genomföras. Det rekommenderas att göra detta vid låga utetemperaturer.

De uppmätta min och max lufttemperaturer under den varma perioden skiljer sig inte mycket från den kalla perioden. De högsta lufttemperaturerna ligger i intervallet 23,7-26,1°C medan för de lägsta gäller intervallet 15,5-17,0°C. Anmärkningsvärt ligger vissa registrerade temperaturminimum för den varma perioden under den registrerade vid samma tidpunkt utetemperaturen. Detta bör vara orimligt då det inte finns något aktivt kylsystem i byggnaden. Dock kan viss mängd kyla lagras i byggnaden under natten. En annan trolig orsak kan vara skillnaden i lokala väderförhållanden mellan angivna väderdata för orten Helsingborg och det faktiska vädret i Landskrona där byggnaden är belägen. Dock eftersom sådana låga lufttemperaturer överhuvudtaget förekommer bör den operativa temperaturen ändå mätas i enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd.

Temperaturmaximum och minimum har inträffat både under soliga och molniga dagar samt under blåsiga och vindstilla dagar. Väderinformation tyder på att förekomsten av sol och vind inte har någon stor inflytande på den uppmätta lufttemperaturen, vilket kan förklaras med en effektiv solavskärmning och god lufttäthet på klimatskärman. Minimumvärden kan också bero på att vädring förekommit.

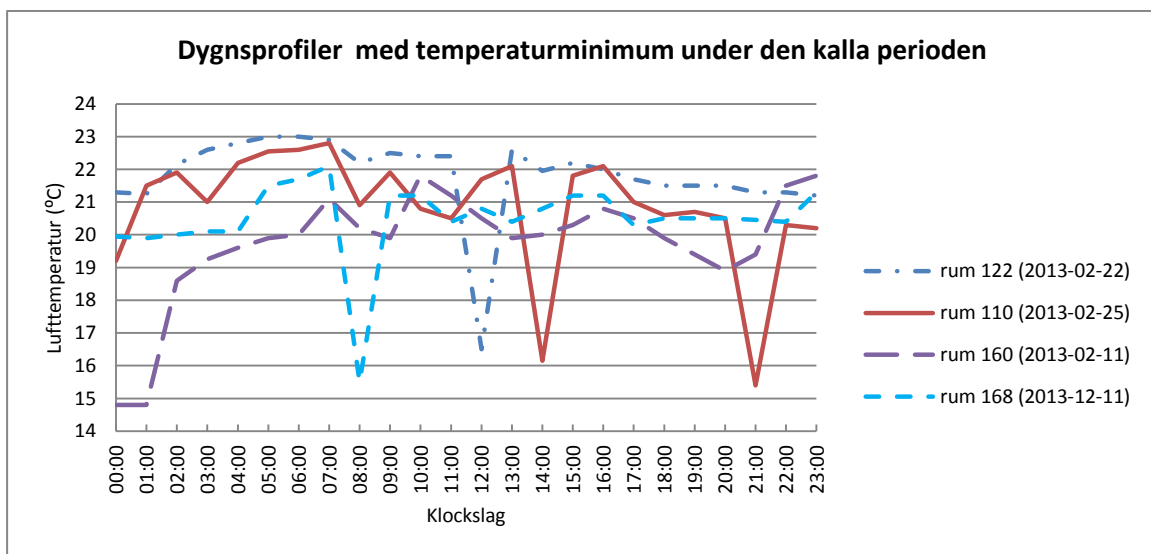
De övriga avlästa temperaturerna under dagar där temperaturmaximum eller minimum har inträffat redovisas som dygnsprofiler för de olika rummen (se i Figur 35 och Figur 38).





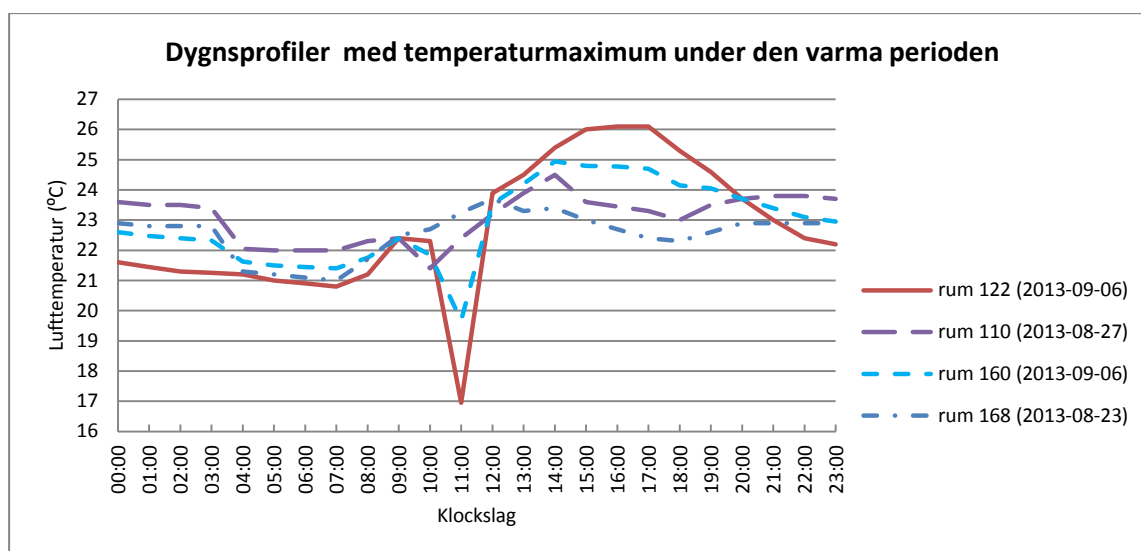
Figur 35. Dygnsprofil av lufttemperatur för dagar där temperaturmaximum registrerats under den kalla perioden för fyra rum på plan 1. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.

Ur Figur 35 framgår att det höga värdet på lufttemperaturen i rum 122 har förekommit som ett enstaka tillfälle. Temperaturmaximum i rum 168 och 110 har karakteristiska toppar medan den högsta uppmätta temperaturen i rum 160 ligger nära de övriga temperaturerna under samma dag.



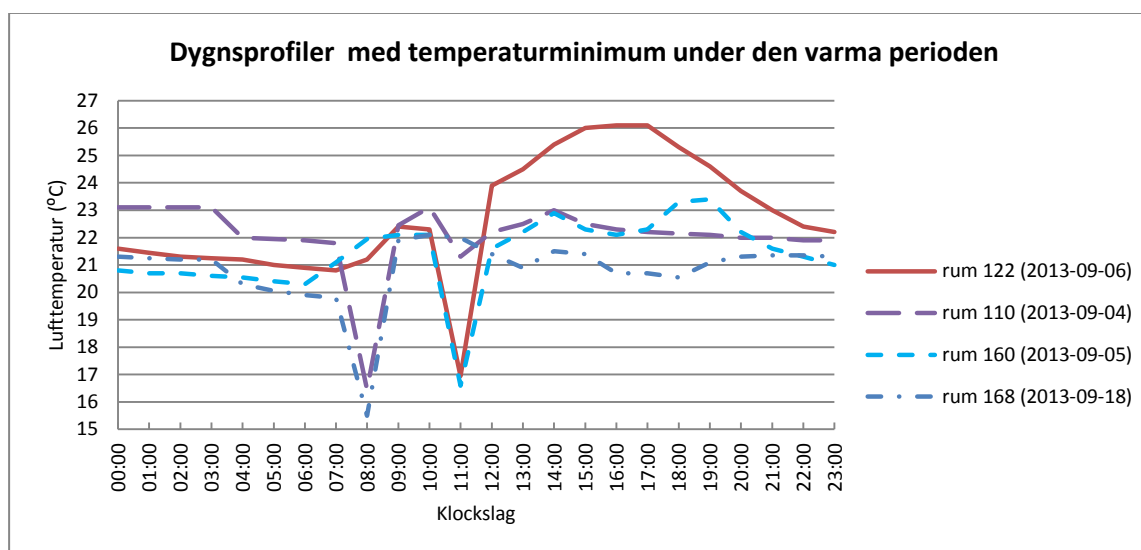
Figur 36. Dygnsprofil av lufttemperatur för dagar där temperaturminimum registrerats under den kalla perioden för fyra rum på plan 1. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.

Figur 36 visar att alla temperaturminimum uppstått enskilt och inträffat vid olika tidpunkter på dagen i de olika rummen, vilket kan tyda på vädring. I övrigt håller temperaturerna sig i intervallet 20-23°C under skolans öppningstid.



**Figur 37. Dygnspröfil av lufttemperatur för dagar där temperaturmaximum registrerats under den varma perioden för fyra rum på plan 1. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.**

Ur Figur 37 ses att dagarna där den högsta temperaturen registrerats har ungefär samma mönster på deras respektive dygnspröfiler. Temperaturmaximum uppstår antagligen som konsekvens av temperaturförändringen under dagen.

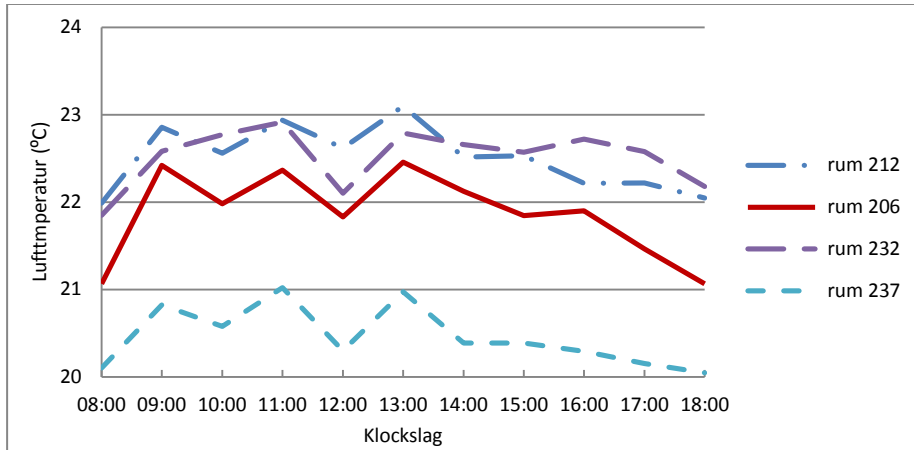


**Figur 38. Dygnspröfil av lufttemperatur för dagar där temperaturminimum registrerats under den varma perioden för fyra rum på plan 1. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes**

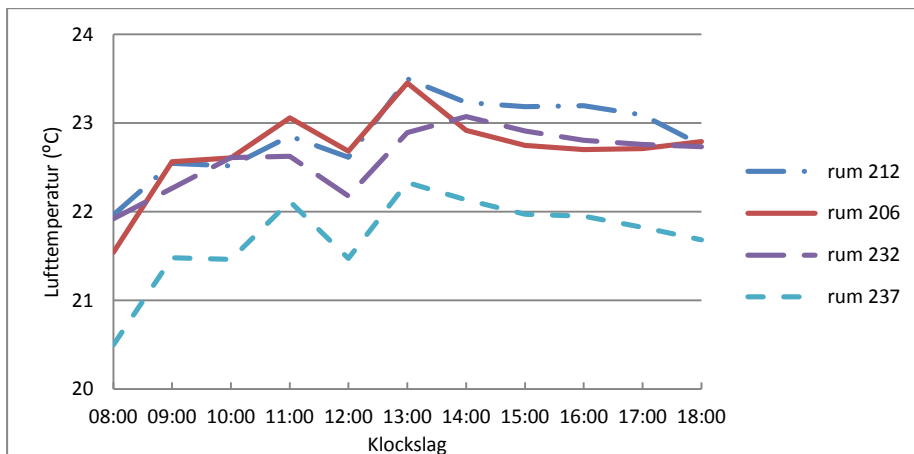
De lägsta uppmätta temperaturerna under den varma perioden har inträffat under förmiddagen som ett enskilt tillfälle, vilket kan orsakas av vädring. De studerade dagarna kan därför inte betraktas som speciellt kalla dagar (se Figur 38).

### Lufttemperatur på plan 2

I Figur 39 och Figur 40 presenteras lufttemperaturerna för en medeldag för fyra olika rum på plan 2 under den kalla och varma perioden. Mätdata för lufttemperaturen erhålls från tilluftsdonets integrerade temperaturgivare.



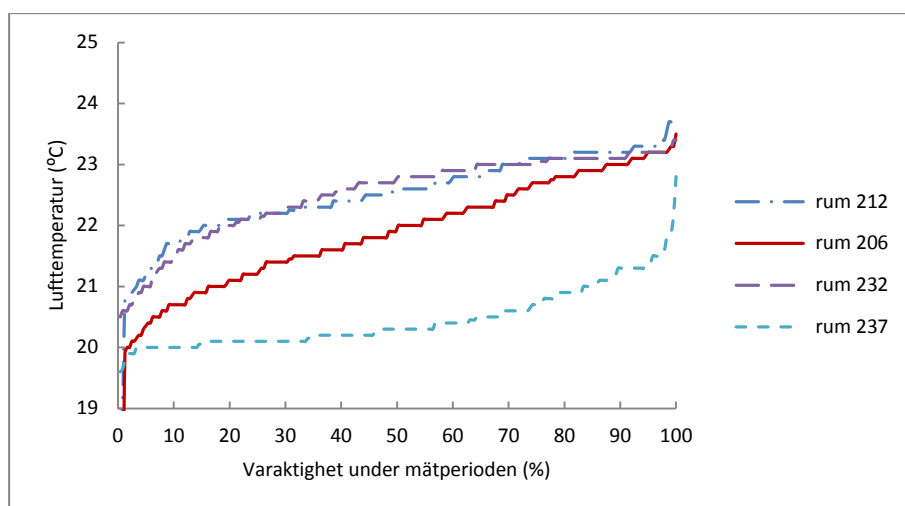
Figur 39. Lufttemperatur för fyra rum på plan 2, medeldag under den kalla perioden från 2013-11-25 till 2013-12-24.



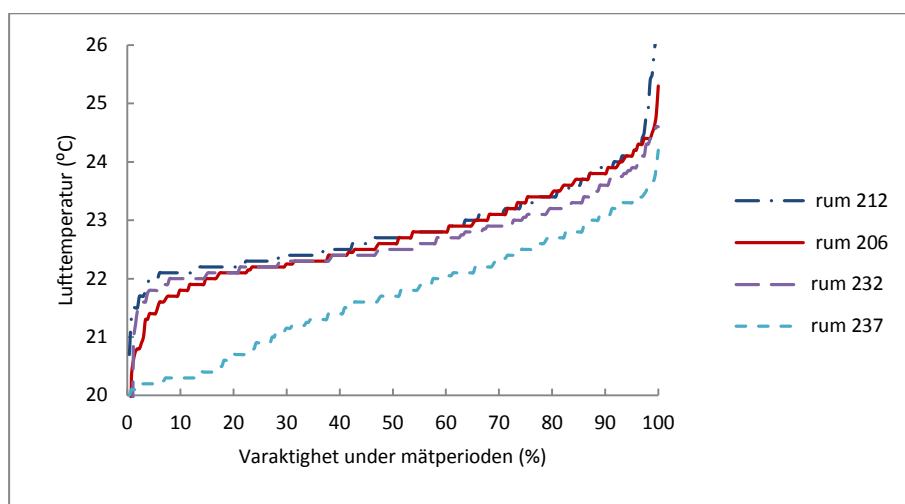
Figur 40. Lufttemperatur för fyra rum på plan 2, medeldag under den varma perioden från 2013-08-19 till 2013-09-19.

Figurerna ovan visar att rum 237, hörnrumsrum med fönster österut, är ca 2°C kallare under vinterperioden och ca 1°C kallare under sommarperioden. Medeltemperaturen för detta rum är 20,5°C och 21,7°C för den kalla respektive den varma perioden. Mellan de andra rummen är det svårt att dra några tydliga slutsatser. Rum 212 med fönster söderut är det rum som sett över båda perioderna har högst lufttemperatur med ett medelvärde på 22,5°C för den kalla perioden och 22,9°C för den varma. Rum 206 är det näst kallaste under den kalla perioden med ett medelvärde på 21,9°C men näst varmaste under den varma perioden med 22,7°C i medeltal. Medeltemperaturen för rum 232 är 22,4°C och 22,6°C för den kalla och varma perioden respektive.

Nedan redovisas varaktighetsdiagram för lufttemperatur i de fyra rummen på plan 2 (se Figur 41 och Figur 42).



Figur 41. Varaktighet för lufttemperatur i fyra rum på plan 2 baserad på timvärden i period från 2013-11-25 till 2013-12-24, kl. 08 till kl.18.



Figur 42. Varaktighet för lufttemperatur för fyra rum på plan 2 baserad på timvärden i period från 2013-08-19 till 2013-09-19, kl. 08 till kl.18.

Ur Figur 41 framgår att rum 237 har en lufttemperatur mellan 20 och 21°C under 90% av den uppmätta kalla perioden. Mediantemperaturen ligger strax över 20°C. Övriga rum har lufttemperaturer mellan 21°C och 23°C under 90 % av tiden. Mediantemperaturen för rum 212 och 232 ca 23°C medan den är 22°C för rum 206.

Under den varma delen av året framgår samma gruppering ännu tydligare, se Figur 42. Lufttemperaturen i rum 237 ligger mellan 20,5-22,5°C medan övriga tre rum ligger mellan 22-24°C under 90% av tiden. Mediantemperaturer ligger på 21,5°C för 237 och 22,5°C för övriga. Ur Figur 41 och Figur 42 framgår även att lufttemperaturen för alla rum i stort sett ligger under börvärdet på 23°C vintertid och över börvärdet på 21°C sommartid. Detta innebär att lufttemperaturerna i stort sett ej uppnår de inställda börvärden under varken den kalla eller den varma mätperioden.

Ur Figur 41 framgår att alla erhållna lufttemperaturerna vintertid ligger inom intervallet för indikerande mätning, 20-24°C (se Tabell 1). Indikerande jämförelse mellan de erhållna lufttemperaturerna och rekommendationen för den operativa temperaturen för känsliga grupper tyder dock på att rum 237 är mycket kallt. Detta är för att lufttemperaturen endast under 0,5% av mätperioden är högre än 22°C och ytorna med största sannolikhet är kallare än lufttemperaturen. Detta innebär att den samlade operativa temperaturen, vilken inkluderar temperatur av både luft och ytor och utgör den temperatur som människan upplever, är lägre än lufttemperaturen. Lufttemperatur i de övriga rummen ligger över 22°C 82% av mätperioden för rum 212 och 232 samt 50% av mätperioden för rum 206.

Analys av varaktighetsdiagrammet i Figur 42 tyder på att lufttemperaturer för indikerande mätning för sommartid överhålls under hela mätperioden. Det betyder att det under varma mätperioden stort sett inte förekommer några under- eller övertemperaturer. Dock är lufttemperaturen i rum 237 något avvikande från de övriga rummen. Resultaten för detta rum tyder på att Folkhälsomyndighetens rekommendation gällande operativa temperaturen på 22-24°C skulle högst uppnås under 30% av mätperioden.

Lufttemperaturens uppmätta maximala och minimala värden samt information om väderlek vid mättidpunkten presenteras i Tabell 14 och Tabell 15.

**Tabell 14. Sammanställning av de högsta och lägsta uppmätta timvisa lufttemperaturer för rum på plan 2 samt den rådande väderleken för den aktuella dagen under den kalla perioden: från 2013-11-25 till 2013-12-24, kl.08 till kl.18.**

Den högsta uppmätta rumstemperaturen för den kalla perioden								
Datum	Tid	rum 206	rum 212	rum 232	rum 237	T ute vid klockslaget enl.SMHI (°C)	Väderlek	
2013-11-25	13:00	21,8	23,8	22,4	21,2	3,6	ej vind	muln
2013-11-29	11:00	23,2	23,3	23,4	21,4	4,4	ej vind	moln
2013-12-04	16:00	22,3	23,7	23,2	22,8	5,1	vind	moln
2013-12-19	09:00	23,5	23,0	23,0	21,2	5,1	vind	moln
Den lägsta uppmätta rumstemperaturen för den kalla perioden								
2013-12-12	16:00	20,4	18,6	23,2	20,3	3,1	vind	moln
2013-12-19	08:00	16,1	22,2	22,2	20,2	4,7	vind	moln
2013-12-24	18:00	19,9	20,8	20,5	19,6	8,2	vind	moln
2013-12-24	18:00	19,9	20,8	20,5	19,6	8,2	vind	moln

**Tabell 15. Sammanställning av de högsta och lägsta uppmätta timvisa lufttemperaturer för rum på plan 2 samt den rådande väderleken för den aktuella dagen under den varma perioden: 2013-08-19 till 2013-09-19, kl.08 till kl.18.**

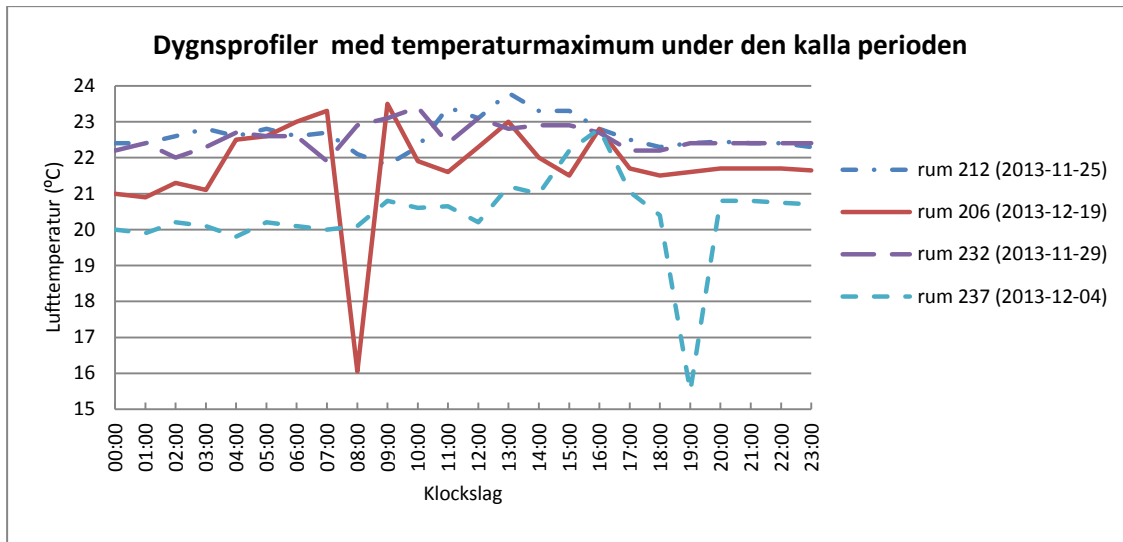
Den högsta uppmätta lufttemperaturen för den varma perioden								
Datum	Klockslag	rum 206	rum 212	rum 232	rum 237	T ute vid klockslaget enl.SMHI (°C)	Väderlek	
2013-08-23	13:00	25,3	24,9	23,5	24,2	21,4	ej vind	sol
2013-08-23	13:00	25,3	24,9	23,5	24,2	21,4	ej vind	sol
2013-09-06	15:00	24,1	25,9	24,6	23,7	21,7	vind	sol
2013-09-06	17:00	24,3	26,2	24,3	23,4	19,7	vind	sol
Den lägsta uppmätta lufttemperaturen för den varma perioden								
2013-08-26	08:00	16,5	22,1	22,0	20,5	18,5	ej vind	sol
2013-08-26	09:00	22,1	22,4	16,9	21,8	19,2	ej vind	sol
2013-09-10	08:00	20,8	20,7	20,9	20,0	14,6	ej vind	sol
2013-09-10	08:00	20,8	20,7	20,9	20,0	14,6	ej vind	sol

De maximala uppmätta temperaturerna under den kalla perioden ligger i intervallet 22,8-23,8°C. De maximala temperaturerna under den varma perioden är något högre och ligger i intervallet 24,2-26,2°C. För de lägsta lufttemperaturerna gäller intervallet 16,1-20,5°C för den kalla perioden medan det är för den varma perioden 16,5-20,7°C.

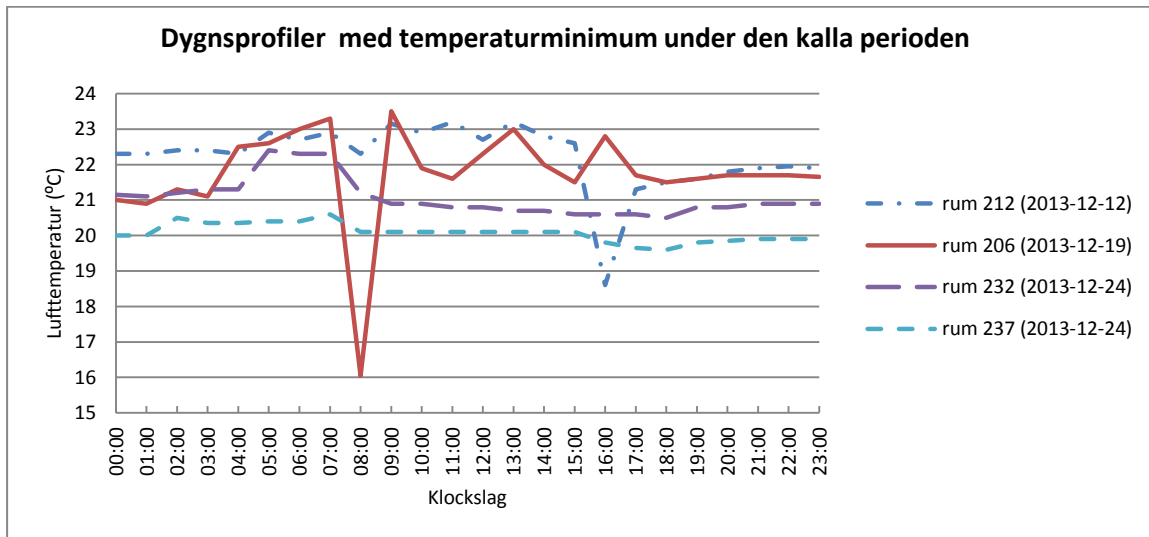
I två fall under den varma perioden har lufttemperaturen inomhus varit lägre än utetemperaturer (rum 206 och 232) vilket kan orsakats av nattkylning eller felaktig väderdata, där den faktiska utetemperaturer borde ha varit lägre.

För den kalla perioden har både temperaturmaximum och minimum uppmätt under molniga dagar. För den varma perioden har de högsta och lägsta temperaturerna registrerats under soliga dagar. Vinden förekom både under dagar med max- och minimumtemperaturer. Samma slutsats angående solens och vindens påverkan på lufttemperatur inomhus kan därmed dras även för plan 2 som för plan 1. Denna analys kan alltså inte påvisa att dessa väderfaktorer har inverkan på max- och minimumtemperaturer inomhus.

Nedan redovisas dygnsprofiler av lufttemperaturen för de aktuella dagarna, där de högsta och lägsta temperaturerna mätts upp under skolans öppningstid.



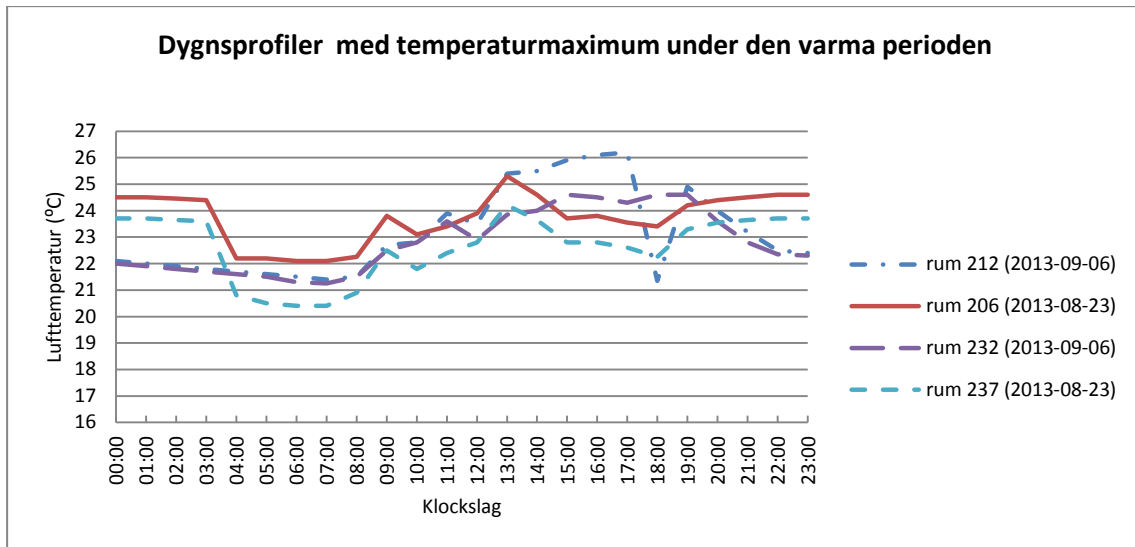
Figur 43. Dygnspröfiler av lufttemperatur för dagar där temperaturmaximum registrerats under den kalla perioden för fyra rum på plan 2. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.



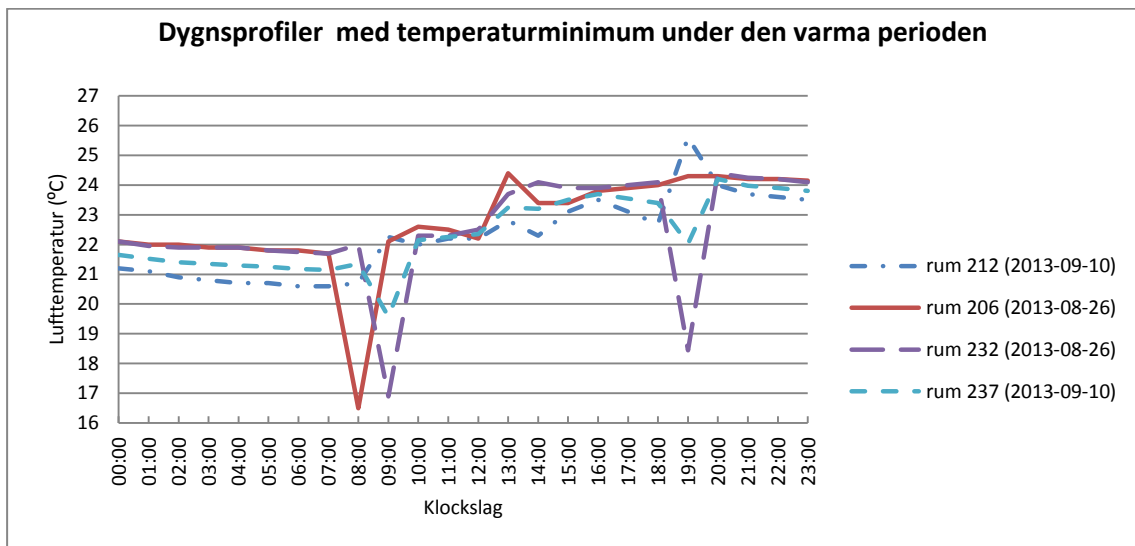
Figur 44. Dygnspröfiler av lufttemperatur för dagar där temperaturminimum registrerats under den kalla perioden för fyra rum på plan 2. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.

Dygnspröfiler i Figur 43 visar att lufttemperaturer toppat under den kalla perioden vid enstaka tidpunkter. Temperaturminimum har förekommit vid enstaka tillfällen i rum 206 och 212, medan rum 232 och 237 har varit ganska kalla under hela dagen (se Figur 44).

Under den varma perioden inträffar temperaturmaximum på eftermiddagen. Detta gäller för alla rum och dygnspröfilerna visar att lufttemperaturen har varit över 22°C för alla rummen under deras respektive dagar (se Figur 45). De lägsta uppmätta temperaturerna registrerats på morgonen, varpå de har stigit och varit över 22°C under hela arbetsdagen. Det kan därför påstås att temperaturminimum bara inträffat tillfälligt (se Figur 46).



Figur 45. Dygnsprofil av lufttemperatur för dagar där temperaturmaximum registrerats under den varma perioden för fyra rum på plan 2. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.



Figur 46. Dygnsprofil av lufttemperatur för dagar där temperaturminimum registrerats under den varma perioden för fyra rum på plan 2. De aktuella dagarnas datum för de respektive rum redovias inom parantes.



### 3.2.2 Sammanfattad analys av orienteringens betydelse för lufttemperaturen

Nedan presenteras en sammanfattande tabell över lufttemperaturens median-, medel, max och minvärden baserade på timvärden under den kalla och varma perioden. Perioderna avser vardagar mellan klockan 08.00 och klockan 18.00.

**Tabell 16. Mediantemperatur samt den lägsta och den högsta lufttemperaturen, redovisad i °C, uppdelat på våningsplan. Väderstreck anger fönstrets orientering. Hörn betyder att rummet har mer än en vägg som utgörs av yttervägg.**

Plan 1	Kall period	Varm period	Plan 2	Kall period	Varm period
Rum 110 Norr, Hörn	Median: 21,8 Medel: 21,7	Median: 22,4 Medel: 22,6	Rum 206 Norr, Hörn	Median: 22,0 Medel: 21,9	Median: 22,6 Medel: 22,7
	16,2 24,1	16,5 24,5		16,1 23,5	16,5 25,3
Rum 122 Syd	Median: 22,3 Medel: 22,2	Median: 22,5 Medel: 22,7	Rum 212 Syd	Median: 22,6 Medel: 22,5	Median: 22,7 Medel: 22,9
	16,5 37,4	17,0 26,1		18,6 23,8	20,7 26,2
Rum 160 Väst	Median: 21,6 Medel: 21,6	Median: 22,1 Medel: 22,0	Rum 232 Väst	Median: 22,8 Medel: 22,5	Median: 22,5 Medel: 22,6
	19,9 23,1	16,6 24,3		20,5 23,4	16,9 24,6
Rum 168 Öst, Hörn	Median: 20,8 Medel: 20,8	Median: 22,0 Medel: 22,0	Rum 237 Öst, Hörn	Median: 20,3 Medel: 20,5	Median: 21,7 Medel: 21,7
	15,5 23,9	15,5 23,7		19,6 22,8	20,0 24,2

Utifrån Tabell 16 utläses att mediantemperaturen för rum med samma läge på respektive plan skiljer 0,2-1,2°C. Enligt (Dahlblom & Jensen, 2014) stiger lufttemperaturen 0,1-0,2°C per våningsplan då luftväxlingen mellan dessa är minimal. Då Emiliaskolan emellertid har en relativt öppen planlösning och tillåter luft att flöda mellan våningsplanen så får den erhållna temperaturskillnaden för medianvärdet anses rimlig.

Det går inte att med genomförda undersökningar säga att lufttemperaturen beror på hur rummet är orienterat. Dock finns en tendens att rum med fönster belägna i söderläge är något varmare än snittet. Den högst uppmätta lufttemperaturen har förekommit i just sådana rum (rum 122 och 212). Rum med fönster mot norr har högre median- och medeltemperatur än rum med fönster mot öst. Det finns även en tendens att lufttemperatur i hörnrum är lägre än i icke-hörnrum. För att kunna ge en tydligare bild av detta hade flera rum behövts undersökas.

Hörnrummen 168 och 237 är rum vars median- och medeltemperatur är lägst bland alla de undersökta rummen. Jämförande analys med Folkhälsomyndighetens rekommenderade värden för lufttemperatur vid indikerande mätning tyder på att hörnrum 168 kan ha låga lufttemperaturer vintertid. Jämförelsen mellan för rum 168 uppmätta lufttemperaturerna och rekommendationen gällande den operativa temperaturen indikerar att denna temperatur endast skulle uppnås 3% av tiden. Appliceras samma princip på hörnrum 237 tyder resultatet på att den operativa temperaturen understiger det rekommenderade värdet på 22°C ca 99,5% av mätperioden. Detta indikerar på att rum 237 är mycket kallt. Som tidigare nämnts så indikerar de uppmätta lufttemperaturerna för rum 168 och 237 att rekommendationer rörande termiskt klimat för känsliga personer inte uppfylls.

Det är generellt 0,5-1,0°C varmare på plan 2 än plan 1 vintertid. Det är dock med undantaget att rum 237 är kallare än rummen på plan 1. Här har dock information ifrån rektor upplyst om att rum 237 är ett rum där det klagats på dålig luft (Johnsson L., personlig kommunikation, 10 mars 2014). Det kan ha påverkat resultatet genom att rummet vädrats med högre frekvens än övriga rum. Sommartid går det inte att utläsa någon tydlig skillnad mellan planen.

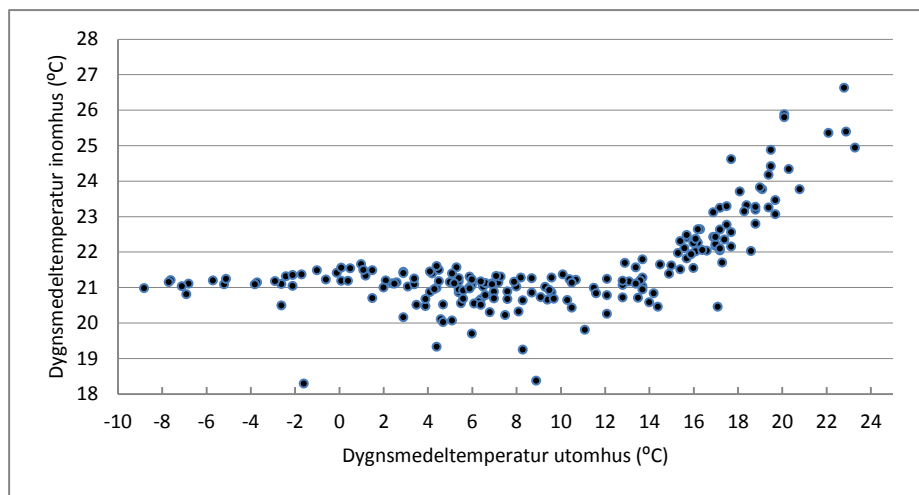
När det gäller de högsta och lägsta uppmätta lufttemperaturerna i de undersökta rummen har dessa generellt sett förekommit på följande vis:

- Temperaturmaximum: under den kalla perioden registrerats både som enskilda mätvärden och som resultat av temperaturförändringen under dagen; under den varma perioden som resultat av en relativ varm dag.
- Temperaturminimum: under både den kalla och varma perioden förekommit som enskilda temperatursänkningar under olika tidpunkter på dagen, vilket skulle kunna orsakats av vädring.

Vindens och solinstrålningens påverkan på max- och minimumtemperaturer i de aktuella rummen kunde inte påvisas, vilket tyder på att byggnadens solavskärmningssystem samt dess lufttätethet är mycket goda.

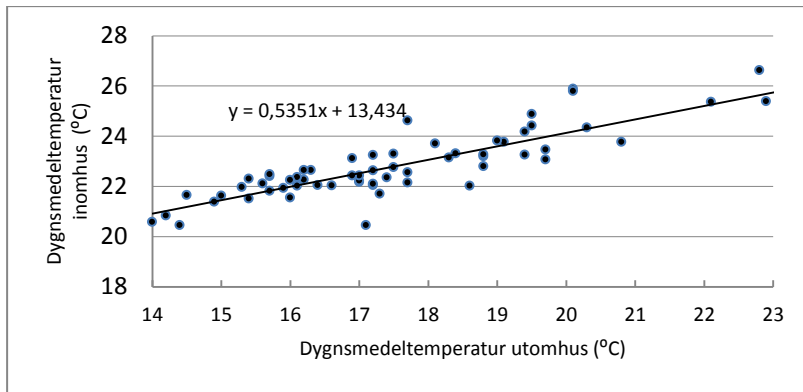
### 3.2.3 Lufttemperatur med avseende på väderlek

I Figur 47 redovisas dygnsmedeltemperatur som en funktion av dygnsmedeltemperatur utomhus för året 2013. Temperaturen inomhus erhålls ur temperaturgivaren i frånluften.



**Figur 47. Dygnsmedeltemperatur inomhus som funktion av dygnsmedeltemperatur utomhus för året 2013, inklusive helgdagar och kvällar.**

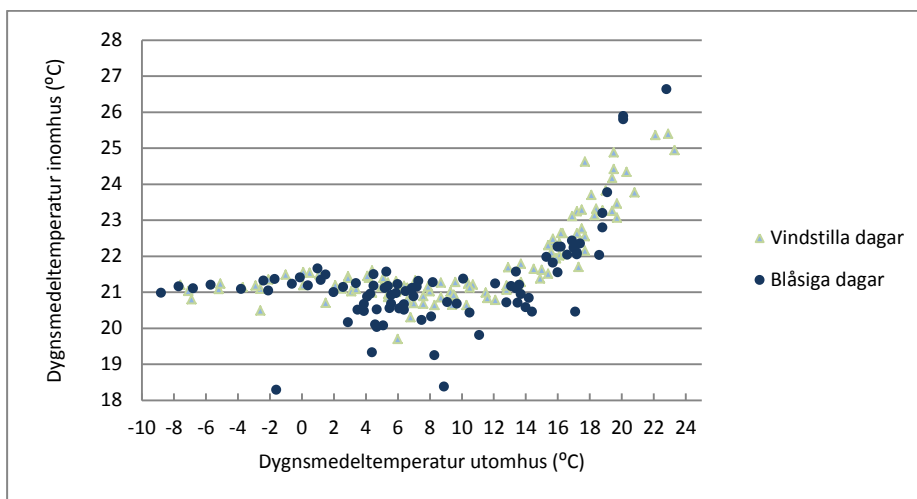
Figur 47 visar ett samband mellan dygnsmedeltemperatur ute och inne. För utetemperaturer lägre än ca 14°C klarar ventilationssystemet av att både kyla och värma tilluften så att innetemperaturen hålls kring 21°C. Vid utetemperaturer högre än 14°C stiger innetemperaturen uppemot 26°C. Gradienten beräknas med minsta kvadrat metoden för utetemperaturer över 14°C (se Figur 48).



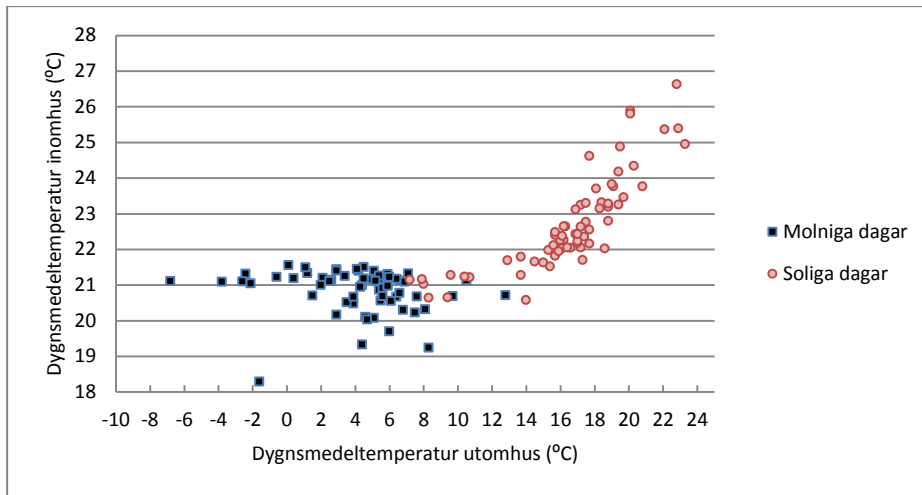
Figur 48. En linje anpassad med minsta kvadratmetoden för  $T_{ute} > 14^{\circ}\text{C}$

Den beräknade gradienten är lika med 0,5 vilket betyder att för varje grad utetemperaturer ökar stiger inomhustemperaturen med en halv grad under antagande att lufttemperatur inomhus och lufttemperatur utomhus fortsatt har ett linjärt samband vid högre utetemperaturer. Att inomhustemperaturen stiger kan förklaras av begränsningar hos ventilationssystemet där inomhustemperaturen endast kan sänkas genom ökat ventilationsflöde under dagen eller via nattkyla på natten. Är temperaturskillnaden mellan ute och inne låg finns ingen möjlighet att aktivt kyla byggnaden. Detta kan förklara några av de höga dygsmedelvärdena på inomhustemperaturen. De enstaka låga dygsmedelvärdena kan ha orsakats av att värmeväxlare av någon anledning inte har ställt in sig i övergången mellan sommar- till vinterdrift.

Figur 49 och Figur 50 kompletterar Figur 47 genom att visa vilka dagar som har varit blåsig/vindstilla samt molniga/soliga.



Figur 49. Dygsmedeltemperatur inomhus som funktion av dygsmedeltemperatur utomhus för vindstilla och blåsiga dagar under 2013. För vindstilla dagar gäller vindhastigheter lägre än 3,4 m/s i dygsmedelvärdet medan blåsiga dagar definieras av vindhastigheter över 3,4 m/s.



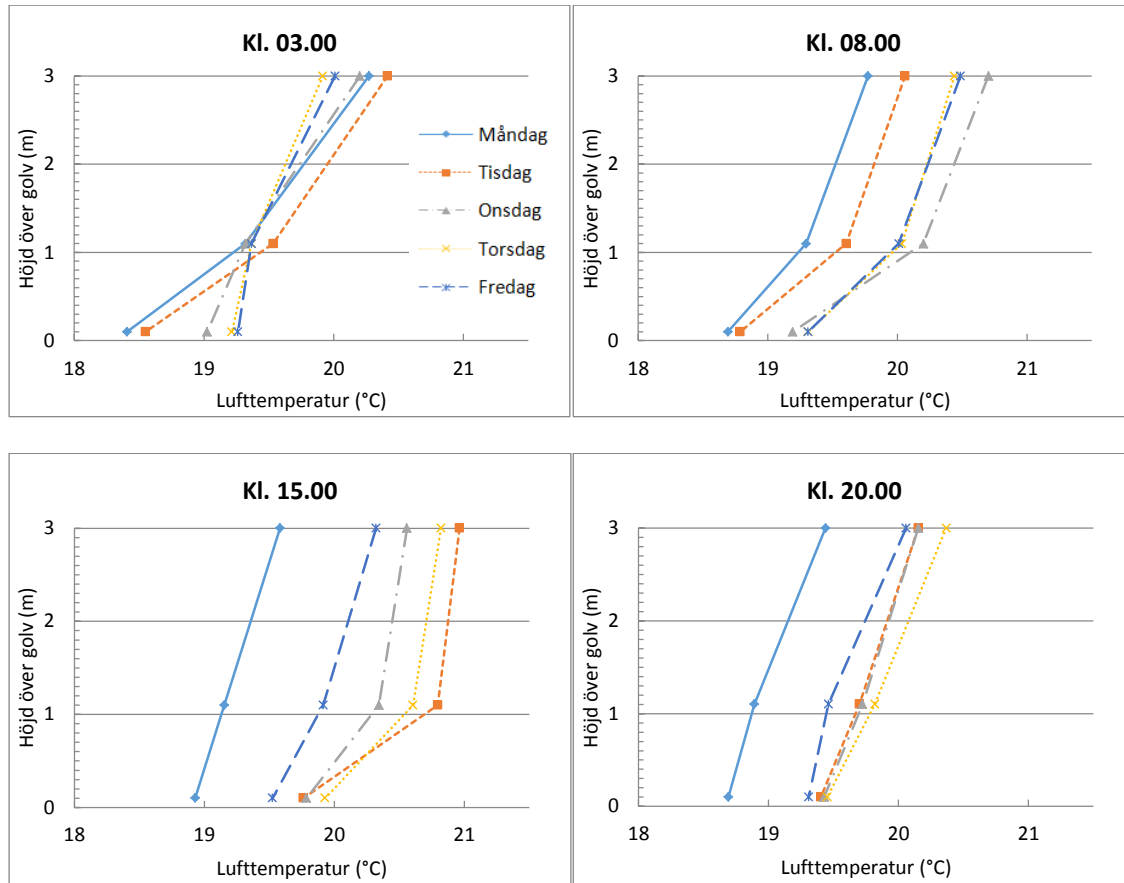
Figur 50. Dygnsmiddeltemperatur inomhus som funktion av dygnsmiddeltemperatur utomhus för molniga och soliga dagar under 2013. Molniga dagar definieras som dagar med den globala irradiansen under  $500 \text{ Wh/m}^2$  i ackumulerat värde under dygnet. För soliga dagar har den globala irradiansen bestämts ligga över  $3000 \text{ Wh/m}^2$ . Dagar vars globala irradians ligger i intervallet mellan  $500\text{-}3000 \text{ Wh/m}^2$  redovisas ej i grafen.

Resultatet som redovisas i Figur 49 tyder på att vinden inte har någon stor inverkan på dygnsmiddeltemperatur inomhus. För att undersöka detta närmare har ett medelvärde av dygnsmiddeltemperatur inomhus beräknats för två intervall: vid utetemperaturer lägre än  $0^\circ\text{C}$  samt vid utetemperaturer mellan  $0^\circ\text{C}$  och  $10^\circ\text{C}$  i dygnsmedel. Detta görs både för blåsiga och vindstilla dagar. Medelvärdet av dygnsmiddeltemperaturen inomhus för vindstilla dagar har beräknats till  $21,1^\circ\text{C}$  för båda intervall. För blåsiga dagar har medeltemperaturen inomhus beräknats till  $20,9^\circ\text{C}$  och  $20,6^\circ\text{C}$  för respektive lägsta och högsta intervall på utetemperaturen. Den lilla skillnaden mellan de framtagna medeltemperaturerna betyder att vinden inte påverkar inomhustemperaturen märkbart. I och med att klimatskärmen är mycket lufttät var detta resultat förväntat.

Figur 50 visar att de flesta soliga dagarna har högre utetemperatur i dygnsmedel än molniga dagar. Figuren visar till viss del att gratisvärme från solinstrålningen har tillgodogjorts hos husets termiska klimat. Detta resonemang gäller för dygnsmiddeltemperaturer ute mellan  $6^\circ\text{C}$  och  $18^\circ\text{C}$ . Vid högre utetemperaturer har solinstrålningen bara orsakat övertemperaturer. Avsnitt 3.1.2 behandlar hur mycket solinstrålning som tillgodogörs för byggnadens energianvändning.

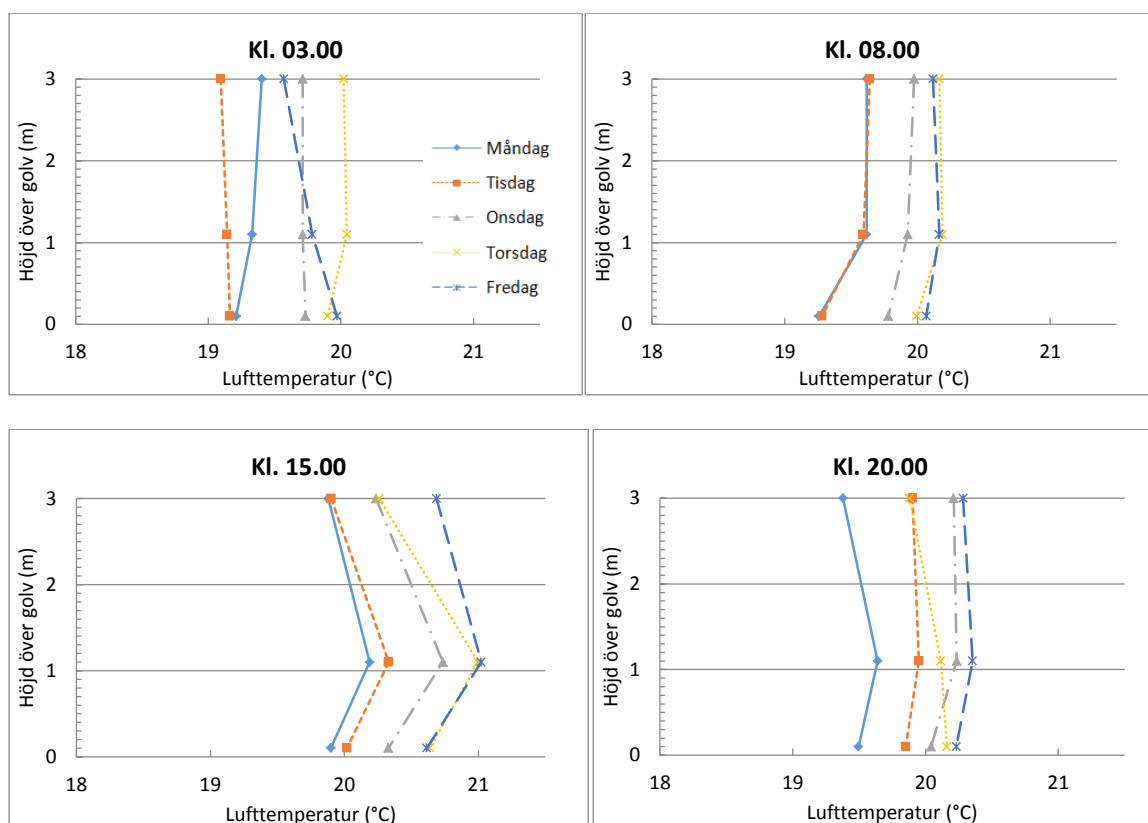
### 3.2.4 Uppmätt temperaturgradienten i två rum

I Figur 51 och Figur 52 redovisas gradienter uppmätta i rum 168 och 237, vilka båda är hörnrum på plan 1 respektive plan 2. Gradienterna redovisas för veckodagar och för klockslagen 03.00, 08.00, 15.00 och 20.00 respektive. Gradienterna har justerats med avseende på utfallet av kalibrering, se Bilaga 3.



Figur 51. Temperaturgradient för respektive klockslag för rum 168, plan 1. Vardagar perioden 2014-03-03 t.o.m. 2014-03-07.

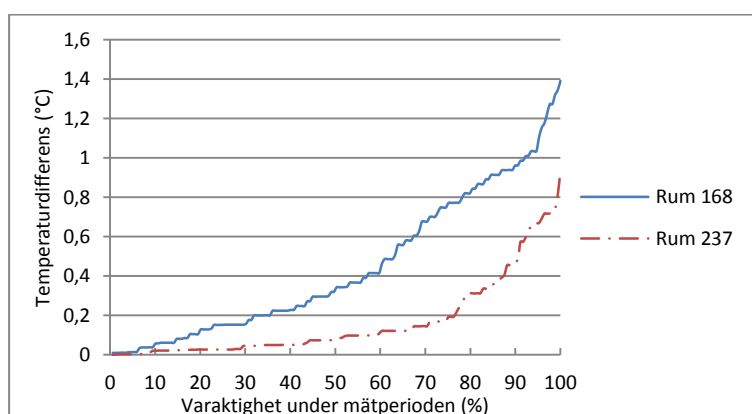
För rum 168 på plan 1 verkar temperaturgradienten inte vara speciellt stor under verksamhetstiden, alltså kl 08.00 och kl 15.00. Varken mellan 0,1 m och 1,1 m höjd eller sett ifrån golv till tak. Under nattdrift (klockan 03.00) uppgår differens dock till maximalt ca 2,0°C. I vistelsezonen är gradienten knapp 1,5°C. Temperaturen, sett mellan de olika dagarna, ser ut att vara relativt jämn. Måndag sticker dock ut något som något kallare. Det kan ha varit mindre antal personer i rummet den dagen, eller kanske så har rummet vädrats.



Figur 52. Temperaturgradient för respektive klockslag för rum 237, plan 2. Vardagar perioden 2014-03-03 t.o.m. 2014-03-07.

För rum 237 på plan 2 verkar temperaturgradienten vara i det närmaste obefintlig. Intressant är dock att temperaturen stundtals är högre vid golvnivå än högre upp. Det sker i högre utsträckning klockan 03.00 samt 20.00, tider då skolan rimligtvis är tom. En tänkbar anledning kan vara att varm luft ventileras in på plan 1 och på så sätt värmer upp mellanbjälklaget.

Ett varaktighetsdiagram för temperaturdifferensen mellan höjderna 0,1 m och 1,1 m över golvet redovisas i Figur 53. Varaktighetsmätningen bygger på all uppmätt data under perioden 2014-03-03 till och med 2014-03-10, inklusive nattetid och helg.



Figur 53. Varaktighetsdiagram för temperaturskillnad mellan höjderna 0,1 m och 1,1 m. Rum 168 och 237 för perioden från 2014-03-03 till 2014-03-07.

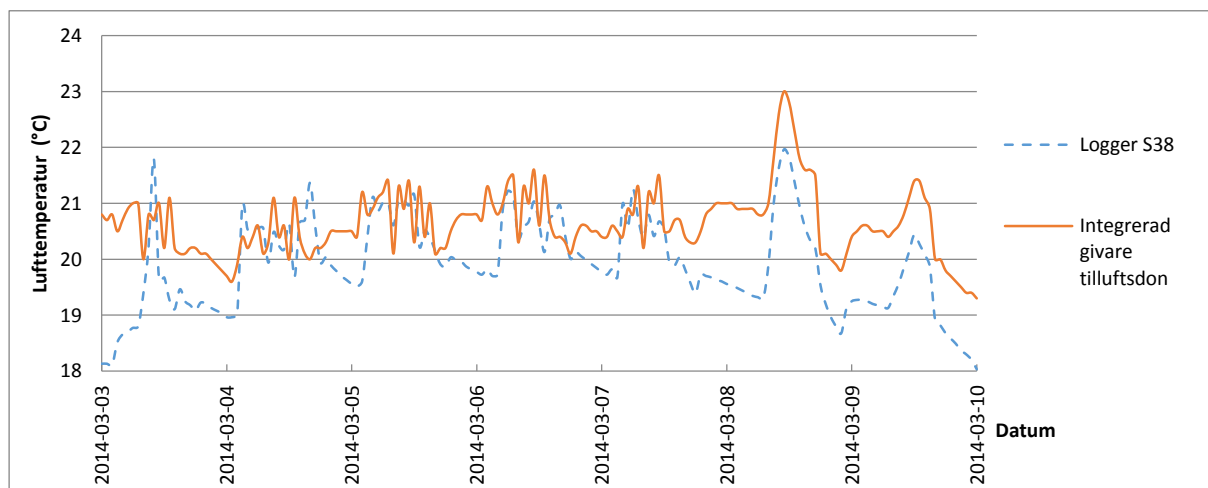
Ur Figur 53 framgår att temperaturgradient inte överstiger 1,4°C i vistelsezonen, vilket ska jämföras mot gränsvärdet 3°C i Folkhälsomyndighetens rekommendationer (Folkhälsomyndighet, 2014). Det värdet gäller dock operativ temperatur, men det relativt otroligt att den gränsen överskrids mer än möjligtvis tillfälligt. Endast i 10% av tiden överskrider gradienten 1 °C och då endast i rum 168. Dessa resultat indikerar dock att uppvärmningen med tilluft inte fungerar tillfredställande under den uppmätta perioden då uppmätta lufttemperaturer i vistelsezonen är låga.

Endast för rum 168 och under nattdrift kan det påvisas en tydlig skillnad mellan den uppmätta temperaturen vid golv respektive tak. Denna typ av skiktning kan tyda på kortslutning hos ventilationssystemet, vilket innebär att tilluften ej omblandas tillräckligt med befintlig rumsluft. Det skulle kunna leda till att vistelsezonen i rummet har en något lägre lufttemperatur än vad DUC:en registrerar. Detta gäller under verksamhetens första timmar innan luften omblandats samt det interna värmetillskottet ökat.

Sammanlagt åtta stycken loggrar användes för lufttemperaturmätningar som genomfördes i två rum. Två loggrar användes för att studera temperaturen vid tilluftsdonet. Temperaturgradienten fick således bestämmas utifrån tre loggrar placerade i lodrät linje för respektive rum. Om det varit möjligt att tillgå fler loggrar, kan två-eller tre sådana mätningar utförts samtidigt i samma rum. Det ger en bättre bild av gradienten i rummet, då faktorer som drag ifrån dörrar och fönster samt solinstrålning lätt kan påverka resultatet om det endast finns en mätserie. Givetvis hade det varit önskvärt att studera fler rum för att få resultat som blivit mer allmängiltiga för byggnaden som helhet.

### 3.2.5 Jämförande mätning mot integrerad temperaturgivare

Loggrar placeras hängande 10cm under tilluftsdonen. Under första dygnet föll dock logger S38 i rum 168 ner. Den hängdes upp samma morgon, vilket kan ses i Figur 54 genom att studera 2014-03-03. Mätning genomfördes även i rum 237, men där föll loggern ner och hängdes ej upp varför resultatet ej är tillförlitligt.



Figur 54. Kontrollmätning av tilluftsdonens inbyggda givare. Rum 168, perioden 2014-03-03 t.o.m. 2014-03-10.

Enligt kontrollmätningen registrerar tilluftsdonets integrerade temperaturgivare ca 1°C lägre temperatur än logger S38 mellan ungefär klockan 15.00 till klockan 00.00 samt under helgen. Under

övrig tid finns ingen tydlig korrelation mellan uppmätta temperaturer hos den integrerade givaren och kontrollmätaren.

En tänkbar förklaring till differensen mellan de uppmätta lufttemperaturerna under eftermiddag och helg är att luftflödet i systemet hålls lågt då beläggningen minskar på eftermiddagen och ventilationen endast körs minimalt. Det minskade luftflödet och minskade närvaron av personer leder i sin tur till nedsatt luftomblandning i rummet. Mellan klockan 00.00 och 08.00 ökar luftflödet igen, vilket ger en ökad luftomblandning med minskad temperaturdifferens som följd. Dock kan ingen tendens till skiktning utläsas ur temperaturgradienten för denna tidsperiod (se Figur 52).

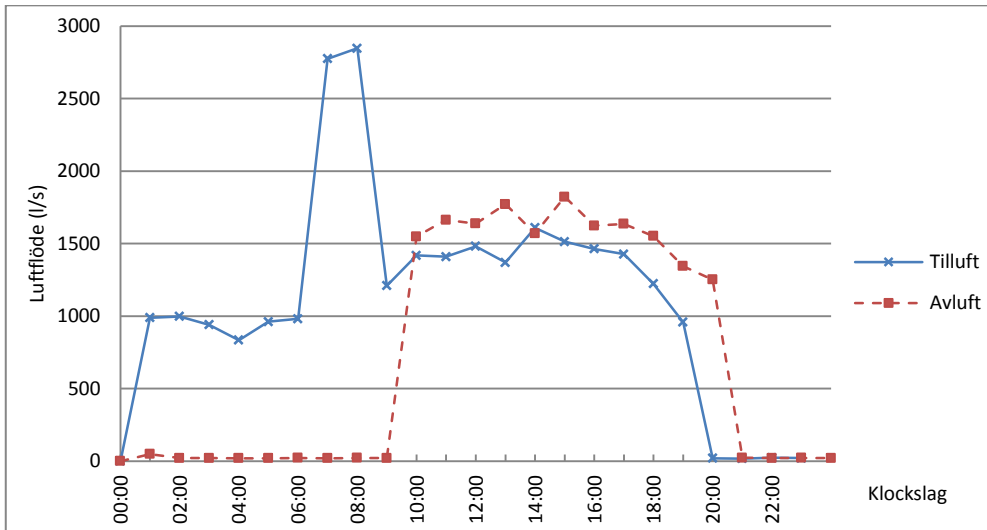
En tänkbar anledning är att den integrerade temperaturgivare skulle behöva kalibreras då den kan visa en något högre lufttemperatur än den reella lufttemperaturen. Dock skall poängteras att den integrerade temperaturgivaren har en felmarginal på 0,5°C och den logger som använts för jämförande mätning en felmarginal på 0,35°C. Det skulle alltså kunna vara till största delen mätfel och den integrerade temperaturgivarens avvikelse ifrån den verkliga lufttemperaturen vara liten.

För analyser i övriga avsnitt av rapporten har de integrerade givarna antagits representera rummets lufttemperatur, även om det finns en misstanke om att de visar en något förhöjd lufttemperatur. Detta antagande görs då den exakta avvikelsen inte har kunnat bestämmas. Dessutom har endast ett rum undersökts, varför resultatet inte behöver vara representativt för andra integrerade givare.

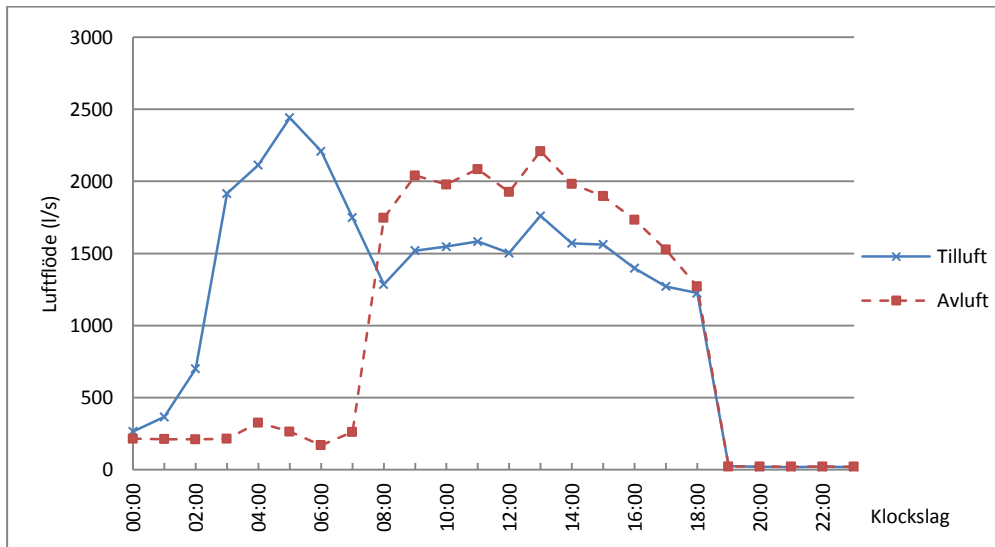


### 3.3 Ventilationsflöde

Ventilationsflödet studeras för två perioder under 2013. Det genomsnittliga ventilationsflödet för en 24-timmars verksamhetsdag under respektive period redovisas i Figur 55 och Figur 56. Ventilationsflödet redovisas även för en genomsnittlig 7-dagars period, alltså inklusive helger, i Figur 57 och Figur 58.



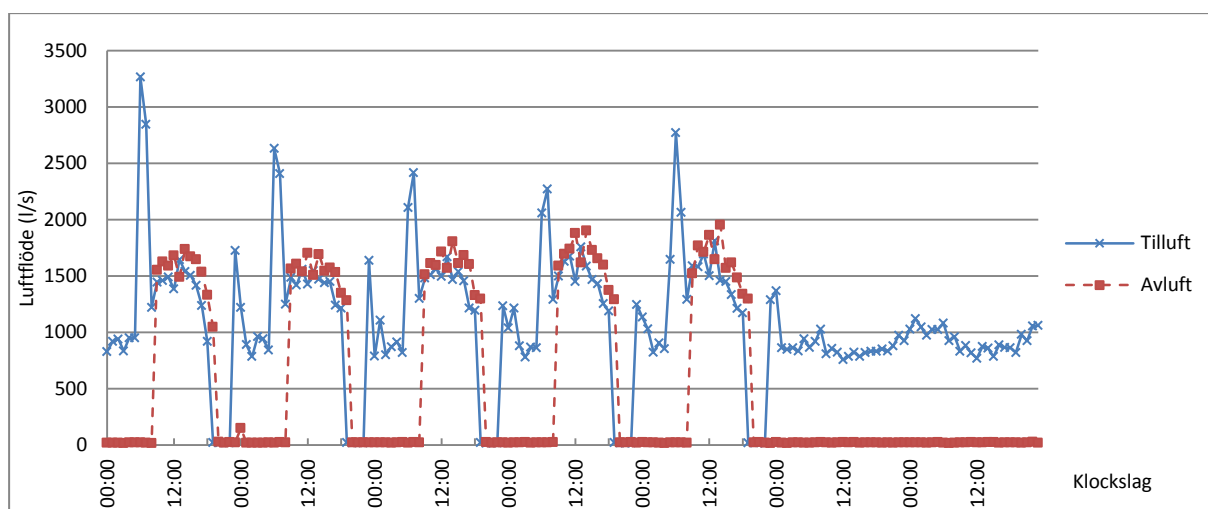
Figur 55. Det genomsnittliga luftflödet under ett dygn från 2013-01-18 till 2013-02-08.



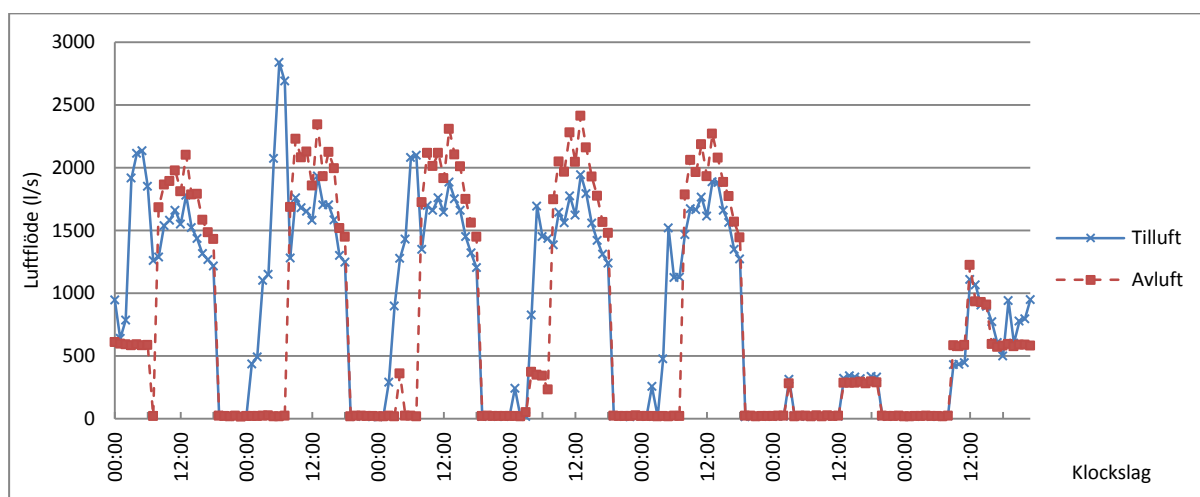
Figur 56. Det genomsnittliga luftflödet under ett dygn från 2013-11-01 till 2013-11-30.

Avluftflödet är noll eller nära noll under nattdrift. Det är väntat, eftersom flödesmätaren som mäter avluften sitter efter värmeväxlaren. Värmeväxlaren är avstängd under nattdrift och 100% återluft används istället. Det betyder alltså att luftflödet i byggnaden bör vara lika stort för från- och tilluft varför tilluften, som är uppmätt, kan sägas vara representativt för båda.

Under verksamhetstiden är avluftsflödet generellt högre än tilluftsflödet. Resultatet är väntat då undertryck normalt eftersträvas vid dimensionering av ventilationssystem för att undvika fuktproblem.



Figur 57. Det genomsnittliga luftflödet under en vecka, måndag till söndag, från 2013-01-18 till 2013-02-08.



Figur 58. Det genomsnittliga luftflödet under en vecka, måndag till söndag, från 2013-11-01 till 2013-11-30.

Figur 57 och Figur 58 illustrerar ytterligare de variationer som kunde utläsas ur Figur 55 och Figur 56. Dock kan här noteras att helgen betar sig något annorlunda mot förväntat under mätperioden 2013-11-01 till och med 2013-11-30. Eftersom det är ett genomsnitt av luftflödet som redovisas är det tänkbart att någon eller några personer arbetat en helg medan övriga helger har ventilationen stått stilla då ingen vistades i lokalen och inget uppvärmningsbehov förelåg. Resultatet blir ett visst utslag då alla helger läggs samman.

**Tabell 17. Sammanställning av uppmätta luftflöden.**  
**Mätperiod 1 avser 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08,**  
**Mätperiod 2 2013-11-01 t.o.m. 2013-11-30. Endast vardagar har beaktats.**

<b>Tilluft</b>				
	l/s	l/s,m <sup>2</sup>	l/s	l/s,m <sup>2</sup>
	Mätperiod 1		Mätperiod 2	
Max	3581	1,21	3706	1,25
Max kl. 08-18	3581	1,21	2793	0,94
Min	15	0,00	14	0,00
Min kl. 08-18	15	0,00	1108	0,37
Medel*	1164	0,39	1056	0,36
Medel kl.00-07*	1416	0,48	1470	0,49
Medel kl. 08-18*	1263	0,43	1360	0,46
<b>Avluft</b>				
Max	2150	0,72	3272	1,10
Max kl. 08-18	2150	0,72	3272	1,10
Min	15	0,01	15	0,00
Min kl. 08-18	16	0,01	1333	0,45
Medel*	743	0,25	926	0,31
Medel kl. 00-07*	25	0,01	234	0,08
Medel kl. 08-18*	1584	0,53	1697	0,57

(\*) Beräknade värden

Under driftstiden varierar tilluftsflödet mellan nära noll upp till 3581 l/s, vilket motsvarar 0 l/(s·m<sup>2</sup>) till 1,2 l/(s·m<sup>2</sup>). Medeltilluftsflödet är relativt sammanfallande för perioderna, runt 1450 l/s dagtid och 1300 l/s nattetid.

Avluftsflödet följer mönstret vad som angivits i styrfunktionerna. Under mätperiod 1 skiljer det 6500% mellan avluftsflödet vid drift, kl 08-18, och nattdrift, kl. 00-07. Att det ändå sker ett litet flöde under nattdriften kan bero på ett visst läckage i ventilationssystemet, att yttre tryckförhållanden påverkar sensorn eller ett kalibreringsfel. Under mätperiod 2 är medelavluftsflödet högre, 234 l/s. Det beror på att ventilationen har varit i driftsläge en natt av okänd anledning.

Avluftsflödet är under dagtid ca 25% högre än tilluftsflödet för båda perioderna. Det är, vilket tidigare nämnts, önskvärt ur fuktsynpunkt.

Baserat på Folkhälsomyndighetens rekommendation om 7 l/s + 0,35l/(s·m<sup>2</sup>) ska de högsta uppmätta tilluftsflödet klara ca 400 personer, vilket är långt över skolans normala belastning. Om medelflödet för verksamhetstiden skulle antas råda hela tiden kan ventilationen försörja ca 180 personer. Det är något under de antal elever och personal som rektorn uppgivit (se Bilaga 4), men verksamhetstiden är också något längre än den genomsnittliga skoldagen. Förmodligen sjunker antalet elever under eftermiddagen fram till klockan 17, medan verksamhetstiden sträcker sig fram till klockan 18. Dessa beräkningar tar inte heller hänsyn till effekten av raster eller vädring. Inte heller den utvädring som sker under nätter och helger beaktas.

### 3.4 Personnärvaro

#### 3.4.1 Beräknade max, min och medelvärden

Beräkning av maxvärde för personnärvaro för varje scenario baseras på uppmätt mängd koldioxid. Resultaten redovisas i Tabell 18 samt Tabell 19. Även minvärden beräknas och för vissa tidpunkter blev personbelastningen negativ vilket dock inte är rimligt då det inte kan vara mindre än noll personer i en byggnad. Medelvärde beräknades på två sätt: dels för hela dygnet, dels endast för tidpunkterna mellan klockan 08.00 och klockan 18.00.

**Tabell 18. Max-, min- och medelvärde för antal personer i byggnaden under period 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08. Värdet avser beräknat antal personer baserat på halten koldioxid i frånluften.**

	<b>Scenario 1</b> Endast vuxna	<b>Scenario 2</b> Endast barn	<b>Scenario 3</b> Förhållande vuxna:barn 1:5
Max	197	310	293
Min	0	0	0
Medel	42	66	63
Medel (kl.8-18)	91	144	136

För mätperioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08 var den genomsnittliga personnärvaron för hela byggnaden mellan 42 till 66 personer beroende på antaget scenario. Om endast verksamhetstiden 8-18 beaktas var det mellan 91 till 144 personer i byggnaden under denna tid. Maximalt var det mellan 197 till 310 personer i byggnaden beroende på vilket scenario som antagits i beräkningen.

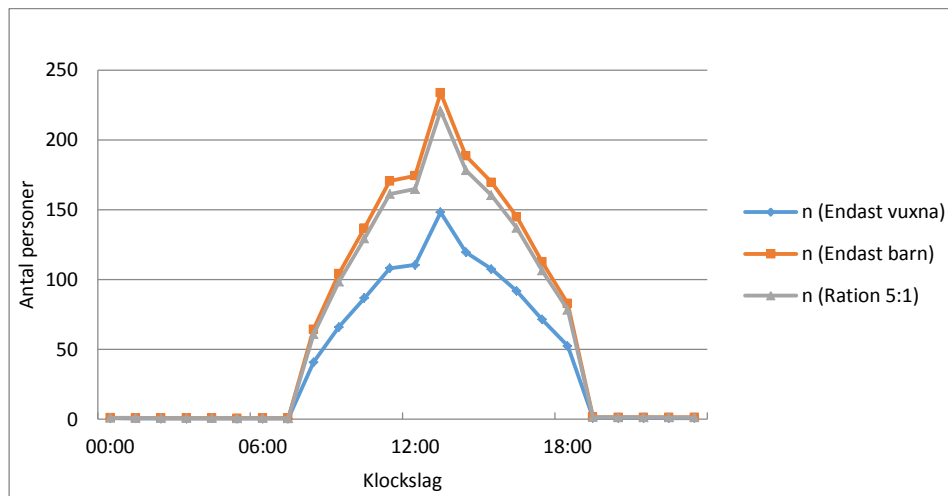
**Tabell 19. Max-, min- och medelvärde för antal personer i byggnaden under period 2013-11-01 t.o.m. 2013-11-30. Värdet avser beräknat antal personer baserat på halten koldioxid i frånluften.**

	<b>Scenario 1</b> Endast vuxna	<b>Scenario 2</b> Endast barn	<b>Scenario 3</b> Förhållande vuxna:barn 1:5
Max	164	258	244
Min	-3	-4	-4
Medel	31	49	47
Medel (kl.8-18)	68	107	101

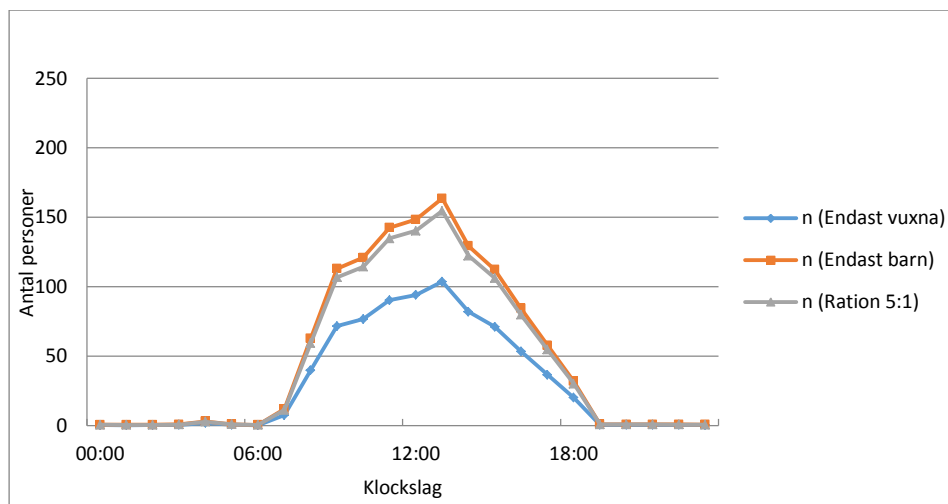
För mätperioden 2013-11-01 t.o.m. 2013-11-30 var den genomsnittliga personnärvaron för hela byggnaden mellan 31 till 49 personer. Om endast verksamhetstiden 8-18 beaktas var det mellan 68 till 107 personer i byggnaden under denna tid. Maximalt var det mellan 164 till 258 personer i byggnaden beroende på vilket scenario som antagits i beräkningen.

### 3.4.2 Variation över tid

Figur 59 och Figur 60 visar variationen i beräknat antal personer sett över ett dygn.



Figur 59. Beräknat antal personer i byggnaden för varje timme under ett dygn med avseende på halten koldioxid i frånluften. Medelvärde för ett dygn baserat på måndag-fredag under perioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08.



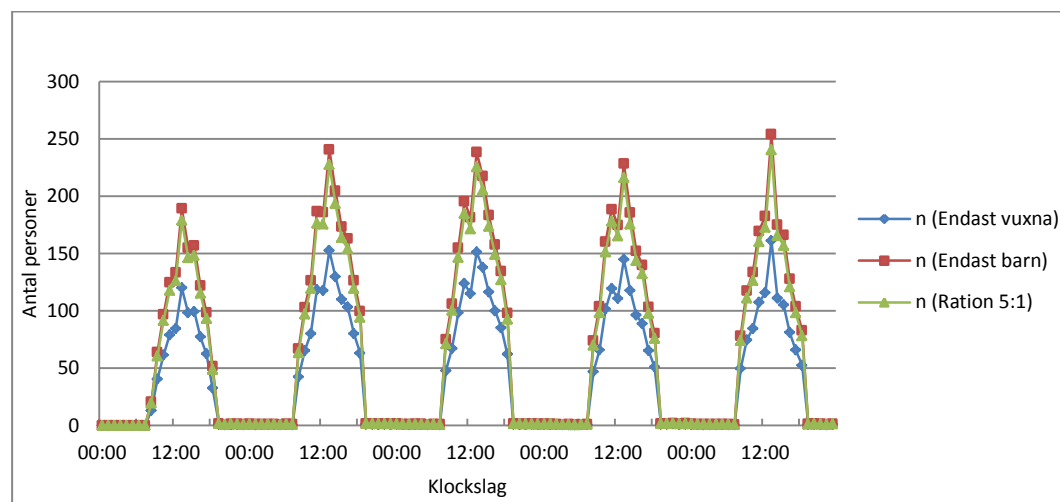
Figur 60. Beräknat antal personer i byggnaden för varje timme under ett dygn med avseende på halten koldioxid i frånluften. Medelvärde för ett dygn baserat på måndag-fredag under perioden 2013-11-01 t.o.m. 2013-11-30.

Utifrån koldioxidmätningarna antas personnärvaron i byggnaden följa det mönster som redovisas i Figur 59 och Figur 60. Mönstret påverkas ej av de antaganden som gjorts, dock påverkar antaganden resultatet av hur många som vistas i byggnaden. Om ett antagande där huvuddelen av personbelastningen utgörs av barn, scenario 2 alternativt scenario 3 så bör personantalet ligga över 200 personer för period 1 och 150 personer för period 2.

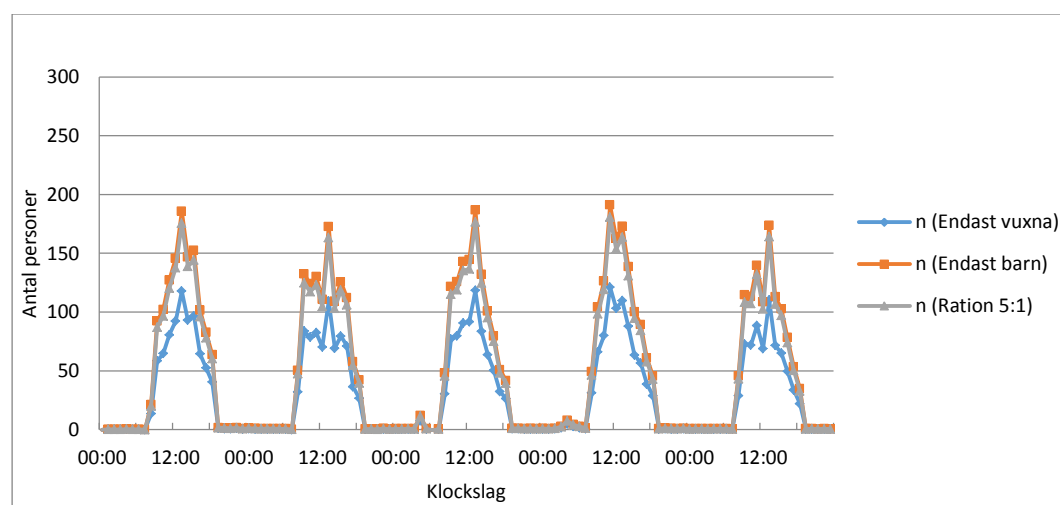
Genom att studera Tabell 18 samt Tabell 19 samt Figur 59 och Figur 60 kan det utskiljas en skillnad mellan de olika mätperioderna. Första mätperioden har nästan 40% högre närvaro, sett till genomsnittlig närvaro under verksamhetstid. Skillnaden beror inte på att det varit något skollov under perioden, höstlovet inföll en vecka innan mätperioden inföll. En förklaring kan vara en högre utomhustemperatur, vilket kan leda till ökad vädringsfrekvens. I Avsnitt 3.1.1 redovisas den uppmätta månadsmedeltemperaturen för november 2013, vilken var 5,9°C. Det kan jämföras med en normal novembermånad vilken är 4,1°C. Det var alltså nästan 2°C varmare än normalt. Under den

första mätperioden vilken infann sig januari 2013 var månadsmedeletemperaturen  $-1,1^{\circ}\text{C}$ . Det var alltså betydligt varmare under den andra mätperioden än under den första. Det varmare uteklimat kan ökat vädringsfrekvensen och alltså resulterat i lägre uppmätta koldioxidhalter, vilket i förläggningen innebär en minskade uppmätt personbelastning under den andra mätperioden.

I Figur 61 och Figur 62 presenteras den beräknade personnärvaron sett över en veckas tid.



**Figur 61.** Beräknat antal personer i byggnaden, sett över en veckas tid baserat på beräkningar utifrån halten koldioxid i hos frånluften. Mätningarna är baserade på måndag-fredag under perioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08.



**Figur 62.** Beräknat antal personer i byggnaden, sett över en veckas tid baserat på beräkningar utifrån halten koldioxid i hos frånluften. Mätningarna är baserade på måndag-fredag under perioden 2013-11-01 t.o.m. 2013-11-30.

Resultaten som redovisas i Figur 61 och Figur 62 följer samma 24h mönster som redovisades i Figur 59 och Figur 60. I Figur 61 är det första dygnet något lägre än de övriga. Det skulle kunna vara ett resultat av att byggnaden är mer utvädrad efter helgen. I Figur 62 syns dock inte samma effekt av utvädring efter helgen, varför det antagandet är svårt att styrka.

Enligt intervju med rektor Lena Johnsson (se Bilaga 4) har skolan ca 285 elever varav 130 är åldern 1-5 år. Antalet anställda på skolan är ca 55. I tabell 20 jämförs rektorns uppgifter med det beräknade resultatet. Scenario 3 för mätperiod 1, 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08, valdes då det antas vara det resultat för personnärvaro som är mest rimligt.

Tabell 20. Jämförelse mellan den beräknade medelnärvaron för scenario 3 under mätperiod 1, 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08 och rektorns uppgiftergällande antal elever och anställda på skolan.

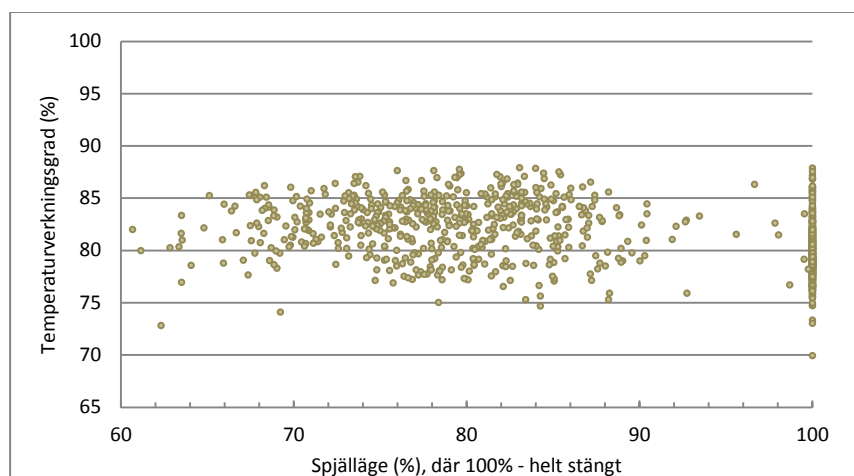
Källa	Barn 0-5 år	Barn 5-11 år	Personal	Totalt
Rektors uppgifter	130	155	55	340
Beräknat map. mängd koldioxid	45	45	45	135

Enligt jämförelsen syns att resultatet av beräkningarna baserat på uppmätt koldioxidhalt endast kan påvisa en närvaro som är betydligt lägre än antalet personer som teoretiskt befinner sig på skolan. Resultatet är väntat då rimligen inte alla personer uppehåller sig i skolan samtidigt hela dagarna.

Det föreligger en osäkerhet i beräkningen med avseende på koldioxid. Om det som tidigare nämnts förekommer någon form av kortslutning, så att halten i frånluften är lägre än i vistelsezonen, kan detta innebära att personnärvaron underskattas i beräkningen.

### 3.5 Temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat

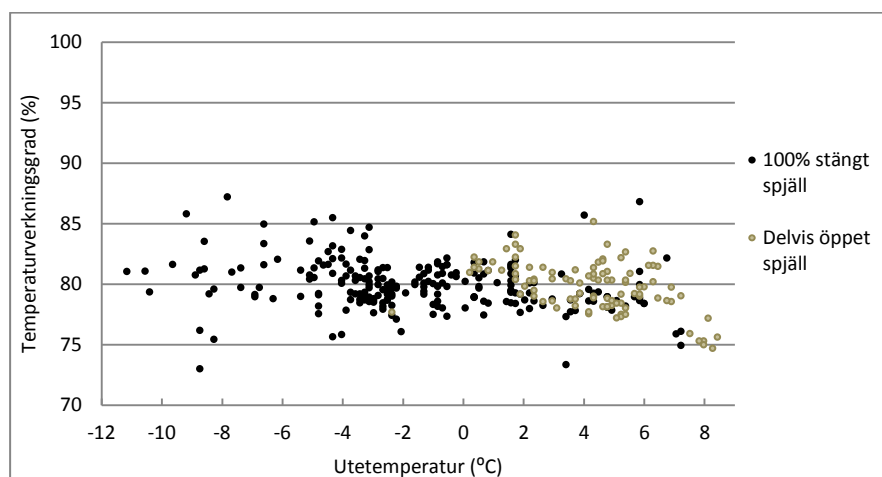
Nedan redovisas temperaturverkningsgrad för tilluftsflödet som funktion av spjälläge (se Figur 63). Helt stängt spjäll innebär att all luft passerar värmeväxlaren.



Figur 63. Beräknad temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde och spjällets öppningsgrad för de tre mätperioder tillsammans, dvs. 2012-11-14 till 2012-12-31; 2013-01-01 till 2013-02-12; 2013-11-01 till 2013-12-31.

Figur 63 visar att systemet "värmeväxlare-förbigångsspjäll" håller en temperaturverkningsgrad mellan ca 76% och 87% både för delvis öppna och helt stängda spjäll.

Figur 64 visar temperaturverkningsgrad för stängda respektive delvis öppna spjäll som funktion av utetemperaturer.



Figur 64. Variation på temperaturverkningsgrad för tilluftsflödet beroende på spjällens läge. Mätperioden är 2013-11-01 till 2013-12-31. Utetemperaturer är enligt systemets egna utetemperaturgivare.

Figur 64 visar att vid lägre utetemperaturer hålls spjällen stängda, vilket betyder att värmeväxlaren används maximalt. Vid utetemperaturer över 0°C har spjällen varit öppna vid något tillfälle och vid högre utetemperaturer har spjällen varit öppna för de flesta mättillfällen. Av figuren framgår att vid högre utetemperaturer är behovet för återvunnen värme något lägre vilket systemet löser genom att öppna förbigångsspjällen och låta den tillräckligt varma uteluften passera genom dessa och blandas i tilluften. Tryckfallet genom värmeväxlaren minskas, vilket leder till minskad energiåtgång till drift av fläktar.



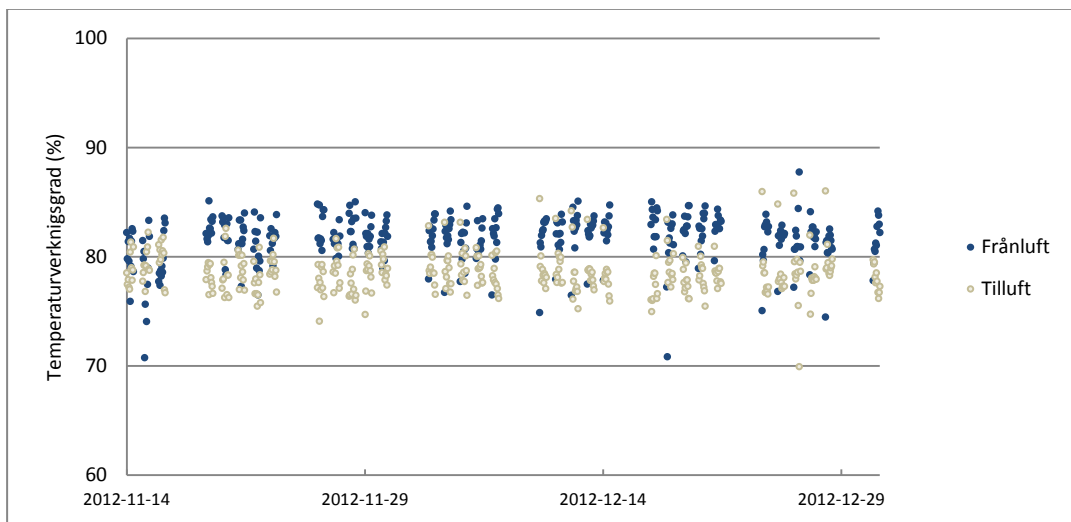
I Tabell 21 redovisas framräknade medelvärden för tilluftens temperaturverkningsgrad för varje studerad tidsperiod för helt stängda respektive delvis öppna spjäll.

Tabell 21. Sammanfattning av framräknade medelvärden för temperaturverkningsgrader för tilluften för olika spjällägen.

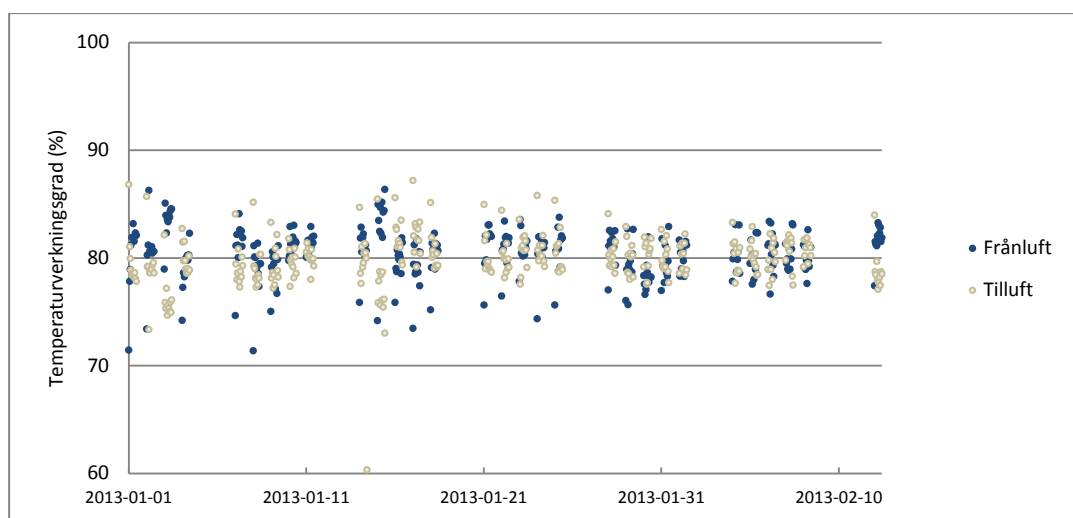
Mätperiod	Temperaturverkningsgrad för tilluften (%)	
	Spjälläge: 100% stängt	Spjälläge: delvis öppet
2012-11-14 till 2012-12-31	78,6	78,6
2013-01-01 till 2013-02-12	79,9	80,0
2013-11-01 till 2013-12-31	83,4	83,1

I Tabell 21 ses att systemets temperaturverkningsgrad hålls på ungefär samma nivå vare sig spjällen är öppna eller stängda. Metoden syftar till att undersöka hela systemets temperaturverkningsgrad, vilket ger mer information om hur systemet fungerar i helhet än om endast värmeväxlaren undersöks. Mätvärden för alla spjällens lägen ingår därför i beräkningen.

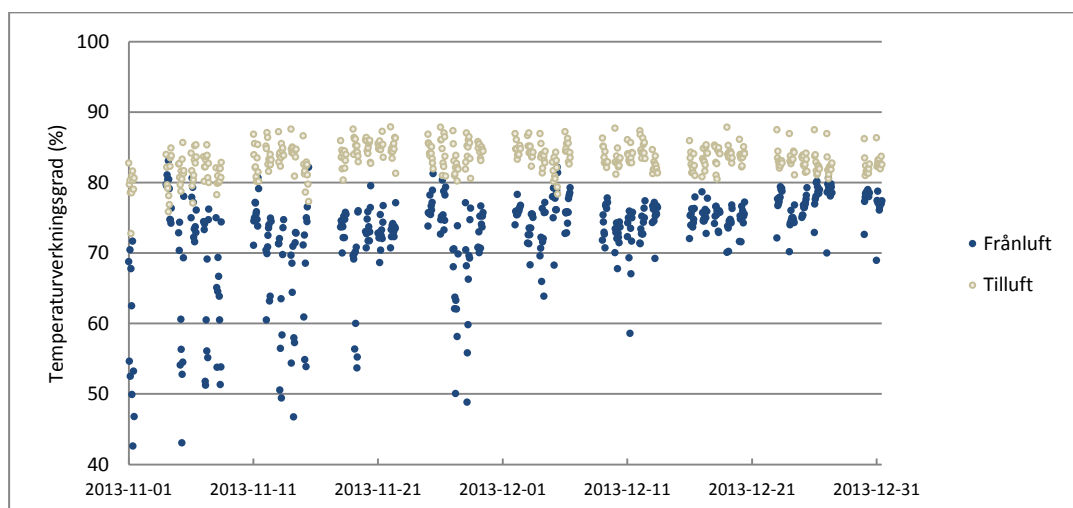
Beräknad temperaturverkningsgrad för varje timme med avseende på till- och frånluftsflöde för de tre studerade tidsperioderna redovisas i Figur 65 till Figur 67.



Figur 65. Beräknad temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde och frånluftsflöde för perioden 2012-11-14 till 2012-12-31.



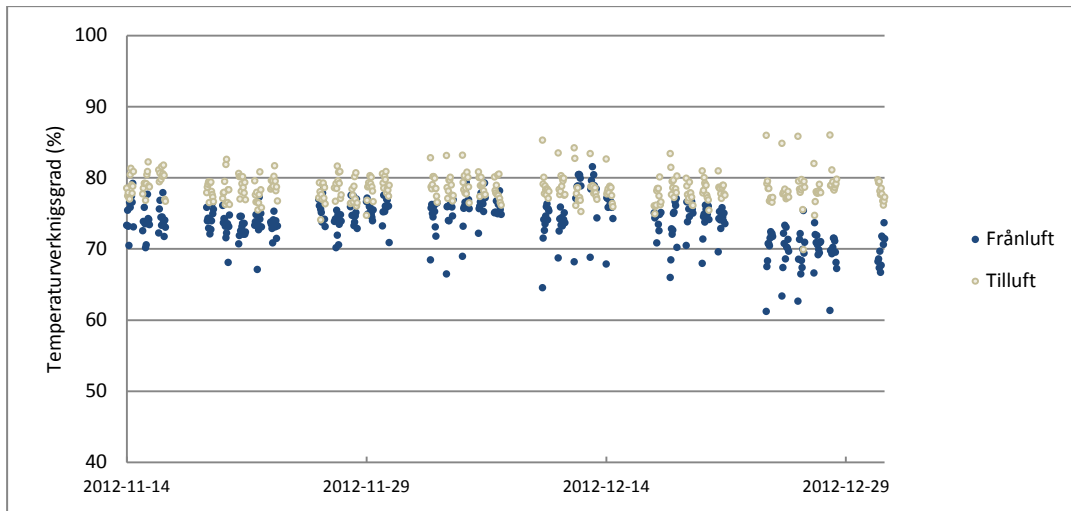
Figur 66. Beräknad temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde och frånluftsflöde för perioden 2013-01-01 till 2013-02-12.



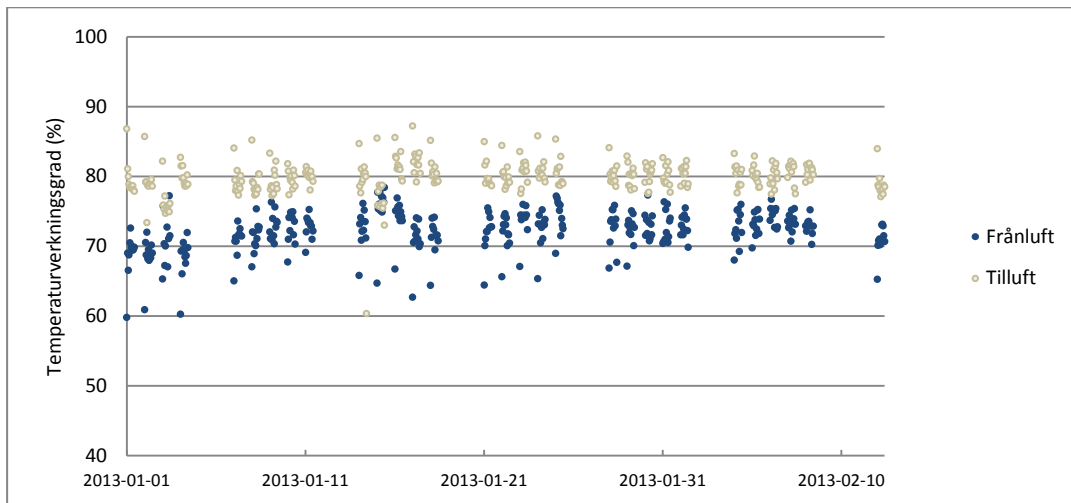
Figur 67. Beräknad temperaturverkningsgrad för tilluftsflöde och frånluftsflöde för perioden 2013-11-01 till 2013-12-31

Av figurerna framgår att temperaturverkningsgraden för till- och frånluftsflödet för de första två studerade tidsperioderna är ungefär samma. För den tredje tidsperioden ligger tilluftsflödets verkningsgrad på samma nivå som tidigare medan frånluftsflödets verkningsgrad avviker kraftigt från tilluftsflödets i början av mätperioden. Skillnader mellan temperaturverkningsgraderna för de två flödena kan bero på att frånluftsflödet är något högre än tilluftsflödet. Görs korrigeringen för denna skillnad enligt Ekv. 5 blir verkningsgraden för frånluftsflödet något lägre än för tilluftsflödet, vilket ses i Figur 68 till Figur 70.

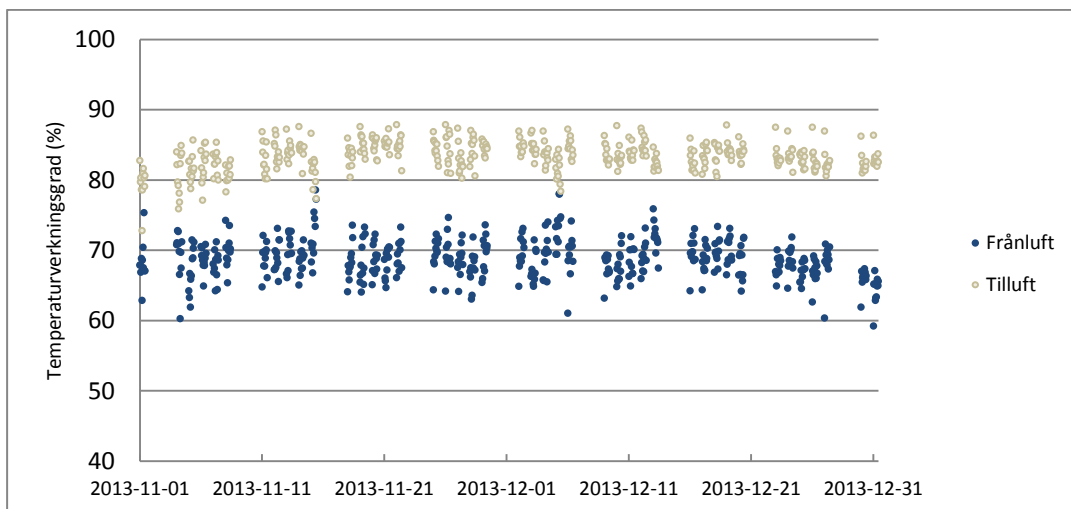
## Resultat och analys



**Figur 68.** Beräknad temperaturverkningsgrad för tilllufts- och frånluftsflöde, korrigerad med hänsyn till skillnader i flöden. Mätperioden 2012-11-14 till 2012-12-31.



**Figur 69.** Beräknad temperaturverkningsgrad för tilllufts- och frånluftsflöde, korrigerad med hänsyn till skillnader i flöden. Mätperioden 2013-01-01 till 2013-02-12.



**Figur 70.** Beräknad temperaturverkningsgrad för tilllufts- och frånluftsflöde, korrigerad med hänsyn till skillnader i flöden. Mätperioden 2013-11-01 till 2013-12-31.

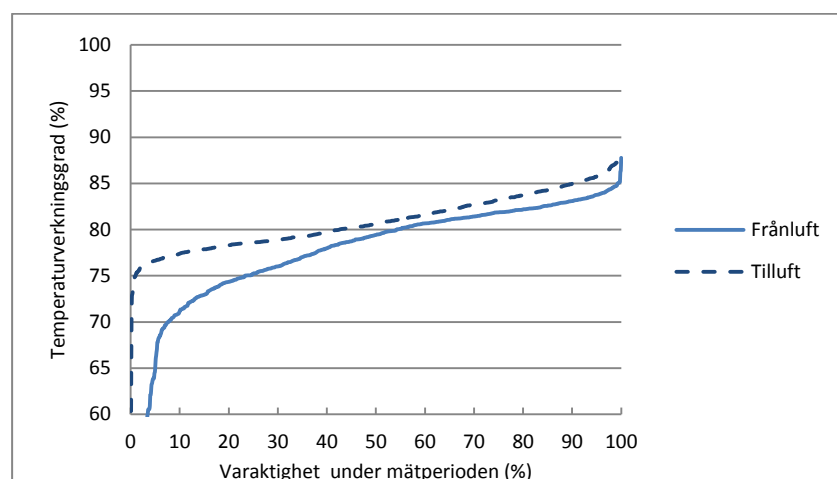
Frånluften kan även innehålla en viss mängd fukt som kan försämra frånluftsflödets temperaturverkningsgrad. Graden av detta kan dock ej värderas då mätningar av luftens relativa fuktighet saknas.

Medelvärdet för temperaturverkningsgraden presenteras i Tabell 22. Dels presenteras det okorrigerade värdet, samt de värden som korrigerats med avseende på skillnaden mellan till- och frånluftsflöden.

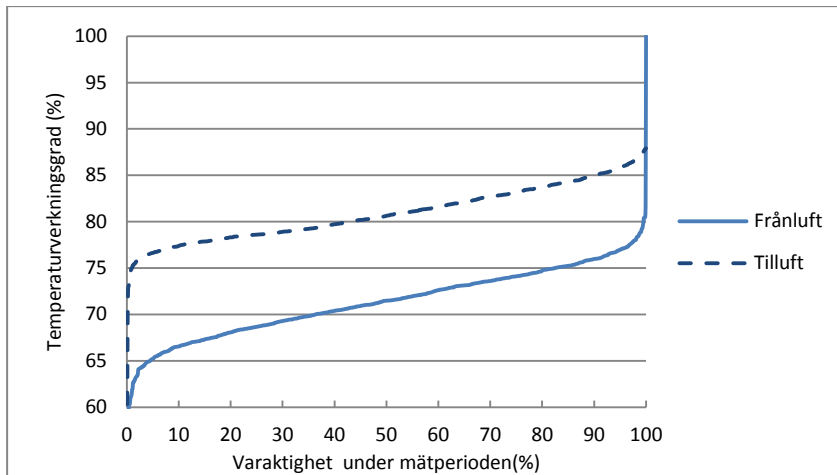
Tabell 22. Temperaturverkningsgradens medelvärde beräknad för tillufts- och frånluftsflödet.

Mätperiod	Temperaturverkningsgrad (%)			
	Okorrigerad för skillnaden mellan till- och frånluftsflöden		Korrigerad för skillnaden mellan till- och frånluftsflöden	
	Tilluftsflöde	Frånluftsflöde	Tilluftsflöde	Frånluftsflöde
2012-11-14 till 2012-12-31	79	82	79	74
2013-01-01 till 2013-03-12	80	80	80	74
2013-11-01 till 2013-12-31	83	73	83	69
Medelvärde	81	78	81	72

Varaktighetsdiagram för okorrigerad och korrigerad temperaturverkningsgrad redovisas i Figur 71 och Figur 72.



Figur 71. Varaktighet över timvis beräknade temperaturverkningsgrader för tillufts- och frånluftsflödet. Temperaturverkningsgraderna har ej korrigerats med hänsyn till skillnaden mellan till- och frånluftsflöden. Varaktigheten baseras på de tre studerade mätperioderna sammanlagt, mellan kl. 08 och kl.18, exklusive helgdagar. Mätperioderna är följande: 2012-11-14 till 2012-12-31, 2013-01-01 till 2013-02-12 samt 2013-11-01 till 2013-12-31.



**Figur 72. Varaktighet över timvis beräknade temperaturverkningsgrader för tillufts- och frånluftsflödet. Temperaturverkningsgraderna har korrigerats med hänsyn till skillnaden mellan till- och frånluftsflöden. Varaktigheten baseras de tre studerade mätperioderna sammanlagt, mellan kl. 08 och kl.18, exklusive helgdagar. Mätperioderna är följande: 2012-11-14 till 2012-12-31, 2013-01-01 till 2013-02-12 samt 2013-11-01 till 2013-12-31.**

Ur varaktighetsdiagrammet i Figur 71 framgår att medianvärdet för den okorrigerade temperaturverkningsgraden för båda flödena är ca 80%. Medianvärde för frånluftsflödets korrigerade temperaturverkningsgrad är ca 71%, se Figur 72. Verkningsgraden för tilluftsflödet är den samma som i Figur 71, då korrigeringen sker med utgångspunkten i tilluftsflödet.

Om korrigeringen istället utförts med utgångspunkt i frånluftsflödet, skulle dess medianvärde ligga kring 80%, som det ser ut i Figur 71. Medianvärdet för tilluftsflödets temperaturverkningsgrad skulle då ha blivit högre än 80%. Det relativt låga medianvärdet för frånluftsflödets temperaturverkningsgrad på 71% kan alltså orsakas av korrigeringsmetodens brister. Okorrigerad temperaturverkningsgrad på 80% används därför i jämförande analys av den antagna vid projekteringen och uppmätta temperaturverkningsgraden.

### 3.6 Klimatskärmens genomsnittliga U-värde

I tabellen nedan redovisas antaganden samt beräknat U-värde för varje natt.

Tabell 23. Antagna värden för beräkning av klimatskärmens genomsnittliga U-värde. Medelvärden för respektive ingående termer beräknas för tidsintervallet - kl.00 till kl.06. U-värdet beräknas med hjälp av Ekv. 6.

Datum	$T_{från}$ medel temp. på frånluften (°C)	$T_{ute}$ medel utetemperatur (°C)	$T_{till}$ medel temp. på tilluften (°C)	$q_{till}$ medel tilluftsflode (m <sup>3</sup> /s)	Beräknat $U_{medel}$ (W/(m <sup>2</sup> K))
2013-01-08	21,0	3,8	30,4	0,9	0,13
2013-01-09	21,3	4,4	29,0	0,8	0,09
2013-01-10	21,4	2,1	30,1	0,7	0,08
2013-01-17	21,0	-9,3	29,3	1,6	0,11
2013-01-22	21,0	-4,9	29,4	1,5	0,12
2013-01-24	21,1	-7,3	29,5	1,5	0,11
2013-01-25	21,1	-13,3	29,3	1,8	0,11
2013-02-05	21,4	1,0	30,0	1,0	0,11
2013-02-07	21,5	-1,2	28,1	1,0	0,08
2013-02-08	21,3	-1,9	27,7	1,1	0,08
				<b>MEDEL</b>	<b>0,10</b>
<p><math>c_p</math> = specifik värmekapacitet för luft=1000 J/kg°C  <math>\rho_{luft}</math> = luftens densitet=1,2 kg/m<sup>3</sup>  <math>A_{om}</math> = byggandens omslutande area mätt invändigt = 212·7+1556·2= 4596 m<sup>2</sup>, där 212 m är byggnadens omkrets, 7 m är byggnadens höjd, 1556 m<sup>2</sup> är arean för 1:a våning mätt i CAD modellen.</p>					

För tak, ytterväggar och grund är U-värdet 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K) medan för fönsters gäller 0,90 W/(m<sup>2</sup>·K). Byggnadens fönster- och dörrarea uppskattas till 162 m<sup>2</sup>. En överslagsberäkning av det faktiska  $U_{medel}$  ger 0,13 W/(m<sup>2</sup>·K).

Det beräknade  $U_{medel}$  är 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K). Det framtagna värdet ska betraktas som en uppskattning på ett maximalt U-värde som gäller för hela klimatskärmen. Med tanke att även effekten av köldbryggor bör ingå i det beräknade  $U_{medel}$  verkar resultatet något underskattat. Dock är det beräknade  $U_{medel}$  i samma storleksordning som U-värdet framtaget enligt grov beräkning, varför metoden inte heller är helt felaktig.

En av felkällorna kan vara effekten av byggnadens termiska massa, som metoden ej beaktar. En del värme lagras under dagen för att sedan avges under natten vilket sänker byggnadens värmebehov nattetid. Det betyder att temperatur på tilluften sänks vilket innebär att temperaturskillnaden mellan till- och frånluften blir mindre, vilket enligt metoden resulterar i ett lägre U-värde.

### 3.7 Undersökning av tappvarmvattens temperatur

Sammanställda mätdata gällande temperaturen i det cirkulerande tappvarmvattensystemet redovisas i Tabell 24.

**Tabell 24. Statistik gällande temperaturen hos framlednings- respektive returtemperatur i det cirkulerande tappvarmvattensystemet. Gäller för perioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08.**

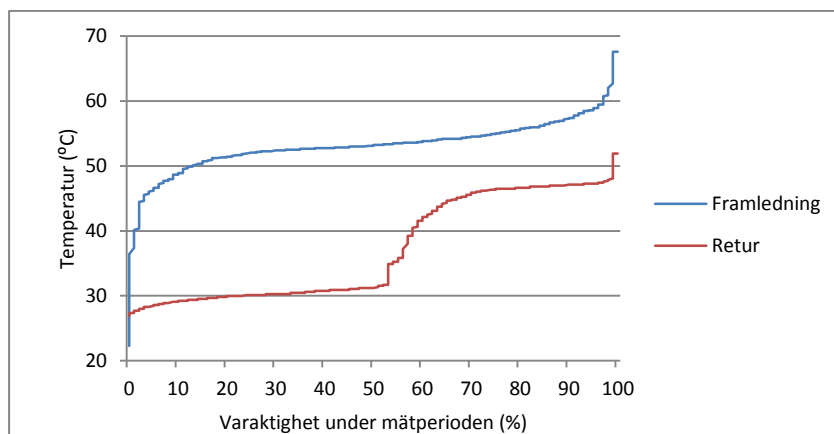
	Framledningstemperatur (°C)	Returtemperatur (°C)
<b>Max</b>	67,6	51,9
<b>Min</b>	22,3	26,9
<b>Medel</b>	53,0	36,9
<b>Andel av tiden under 50°C</b>	13,6%	99,7%

Medeltemperaturen på framledningen är 53°C vilket är godkänt med avseende på tillväxten av legionella. Dock hade temperaturen kunnat vara högre för att minska tiden temperaturen understeg 50°C.

Medeltemperaturen på returledningen är 37°C vilket är 13°C mindre än godkänt och innebär en hälsorisk. Temperaturen bör höjas till minst 50°C genom att öka temperaturen på framledningen och/eller injustera systemet. Observera att när temperaturen i systemet höjs, kan blandare behöva injusteras för att undvika risk för skällning vid tappställe.

Den minsta uppmätta framledningstemperaturen på 22°C är lägre än den lägsta uppmätta returtemperaturen 27°C. Förmodligen beror det på att mätvärdena är momentana och då minsta temperaturen på framledningstemperaturen uppmättes skedde ett stort uttag av varmvatten. Uttaget hade dock inte hunnit påverka returtemperaturen vilken rimligtvis bör sjunka strax efter tidpunkten för mätningen.

I Figur 73 framgår varaktigheten hos tappvarmvattnets temperatur.



**Figur 73. Varaktighetsdiagram över tappvarmvattnets temperatur i fram- respektive returledning. Gäller för perioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08.**

Under den undersökta tidsperioden är temperaturen för låg i det cirkulerande systemet i nära 100% av tiden. Framförallt är temperaturen för låg i returledningen men under 13% av tiden även i framledningen.

Temperaturen är som lägst nere på omkring 25°C, både på framledning och retur. Det kan tyda på att värmeväxlaren är underdimensionerad eller att systemet är fel injusterat. Det kan också ha varit en stor mängd varmvatten som tappas under en kortare tidsperiod, vilket skulle kunna orsaka de låga temperaturer som uppmäts i 5% av fallen på framledningen. För returledningen finns dock ingenting som skulle kunna förklara de ständigt låga temperaturerna, annat än en felaktigt inställd mätare.

### **3.7.1 Energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten**

Tappvarmvattenanvändning för år 2013 har uppmäts till 155,64 m<sup>3</sup>. Det motsvarar en användning på 52 l/(m<sup>2</sup>·år).

Energianvändningen för tappvarmvattenuppvärmning i det cirkulerande systemet beräknas genom att studera den genomsnittliga temperaturdifferensen mellan framledningstemperaturen och temperaturen hos det inkommande kallvattnet. Det inkommande kallvattnet antas ha en temperatur på 10°C och värms upp till i genomsnitt 53°C.

För att värma upp 156 m<sup>3</sup> till 43°C krävs 7810 kWh eller 2,8 kWh/(m<sup>2</sup>·år). I Avsnitt 3.1.1 redovisas den klimatberoende delen av effektbehovet. Den effekt som åtgår till byggnadens ytterbelysning och tappvarmvatten är 1,4 W/m<sup>2</sup> för år 2012 och 1,8 W/m<sup>2</sup> för år 2013 vilket motsvarar 12-16 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Att tappvarmvattnet skulle utgöra ca 20% av den klimatberoende delen får anses vara rimligt särskilt med tanke på att det beräknade värdet endast inkluderar tappvarmvatten i det cirkulerande systemet.



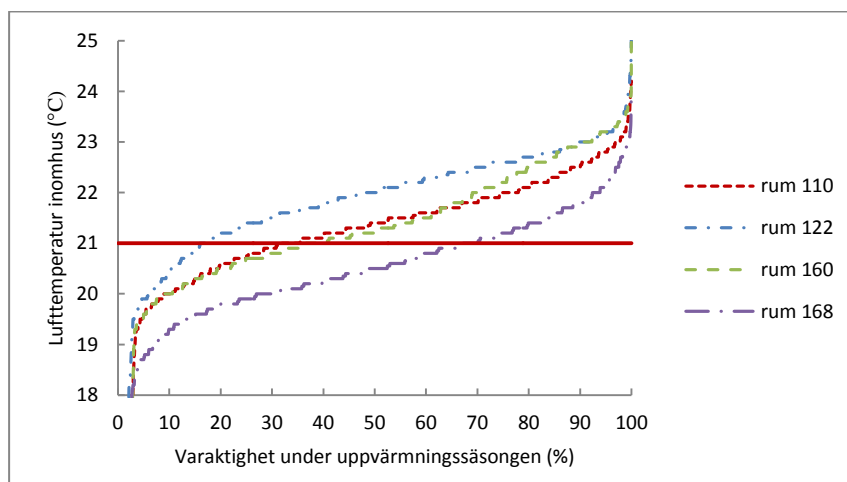
### 3.8 Analys av ingående parametrar med avseende på energianvändning

Det beräknade värden som erhållits i rapporten kan jämföras mot de antaganden som gjorts under projekteringen. I vissa fall kan det göras direkt, i vissa krävs ytterligare beräkningar eller antaganden.

#### 3.8.1 Inomhustemperatur

Inomhustemperaturen har för energiberäkningen antagits ha ett börvärde på 21°C. Enligt vad som beskrivits i styrfunktionerna gäller dock olika börvärden för temperaturen vid dag, natt, sommar- respektive vinterdrift. Detta har dock inte kunnat antas i de tidiga energiberäkningarna, eftersom styrfunktionerna utformades senare.

I Figur 74 presenteras lufttemperaturens varaktighet för fyra rum på plan 1. Varaktigheten är framtagen med hjälp av timvisa mätdata under uppvärmningssäsongen, som för denna byggnad definieras som perioden då utetemperaturen understiger byggnadens framräknade balanstemperatur på 10,5 °C. Alla dygnets timmar ingår i denna varaktighet.



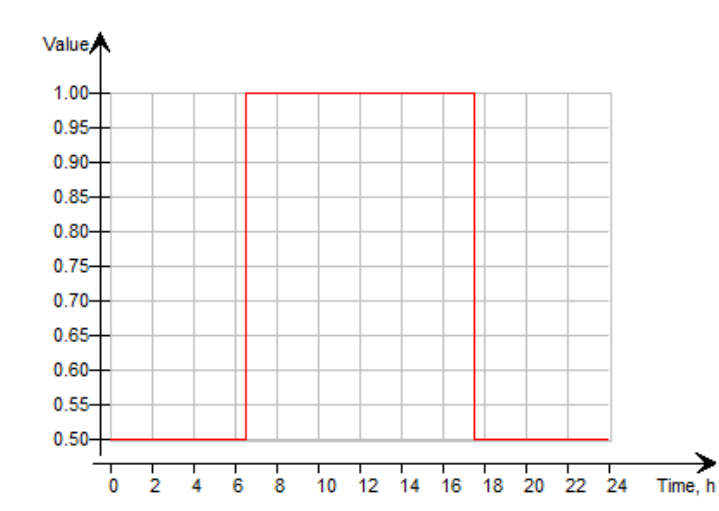
**Figur 74.** Lufttemperaturens varaktighet baserad på timvisa data för 2013, inklusive helgdagar och kvällar. Mätperioden omfattar uppvärmningssäsongen definierad som perioden då utetemperaturen understiger byggnadens balanstemperatur på 10,5 °C. Den under projekteringen antagna temperaturen på 21°C redovisas också.

Som det ses i Figur 74 uppnås den antagna vid projekteringen lufttemperaturen på 21°C ca 70% av mätperioden för det kallaste rummet, rum 168. För det varmaste rummet, rum 122, ligger lufttemperaturen under 21°C under 15% av mätperioden. I medeltal ligger lufttemperaturerna under 21°C ca 40% av uppvärmningssäsongen. Det har alltså varit kallare inomhus än vad som antagits, vilket innebär en minskning i uppvärmningsbehovet.

Antagandet om 21 °C inomhustemperatur bedöms dock vara rimligt och väl valt vid en tidig energiberäkning. Dock hade möjligheten att variera denna enligt de olika driftfallen varit att föredra för att få en mer exakt bild av den verkliga energianvändningen. Det skall enligt författarnas uppfattning vara möjligt att göra så i IDA version 3.0 och framåt.

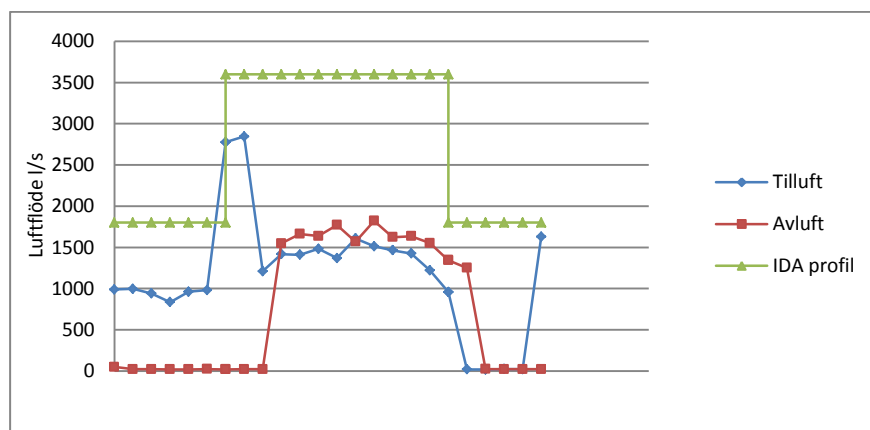
### 3.8.2 Ventilationsflödet

Ventilationsflödet har under projekteringen dimensionerats för ett maximalt flöde om  $3,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ . Samma flöde gäller för till- respektive frånluft. Ventilationen har under energiprojekteringen antagits ha drifttid styrd enligt driftstid enligt Figur 75.



Figur 75. Antagen dygnsprofil för ventilation. Utdrag ifrån IDA.

Om flödet endast reglerats av detta styrschema hade resultatet varit likt det i Figur 76. Där syns hur antagandet skiljer sig ifrån de uppmätta värden som finns, det antagna flödet ligger högre än det verkliga utfallet. IDA profilen skalats efter det maximala uppmätta luftflödet hos tillluften,  $1,2 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ . Maximalt avluftflöde är  $0,7 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  men till- och avluft antogs vara samma under energiberäkningen.



Figur 76. Beräknade luftflöden för en medeldag under en kall mätperiod, jämfört med profilen för det antagande som gjorts vid projektering. Baserat på uppmätt maxflöde  $1,2 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ .

Hur stor skillnaden mellan projekterat respektive uppmätt flöde egentligen är svårt att avgöra. I IDA anges ett min respektive max luftflöde i  $\text{l}/\text{s}$ . Sedan beräknas ventilationsflödet för varje tidsintervall beroende på vilket temperaturspann,  $\text{CO}_2$ -max, personnärvaron och dess variation under dygnet samt maximal tillåten luftfuktighet som ansatts.

Klart är dock att det maximala dimensionerade flödet aldrig uppnås under perioden. Som mest kommer flödet upp i  $1,2 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  mot antagna  $3,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ . Vidare har flödena antagits vara lika för

från- och tilluft, vilket de inte är. Avluftslödet är mindre, varför energiförlusterna också bör bli mindre, eftersom det är med avluften energin försvinner ut ur byggnaden.

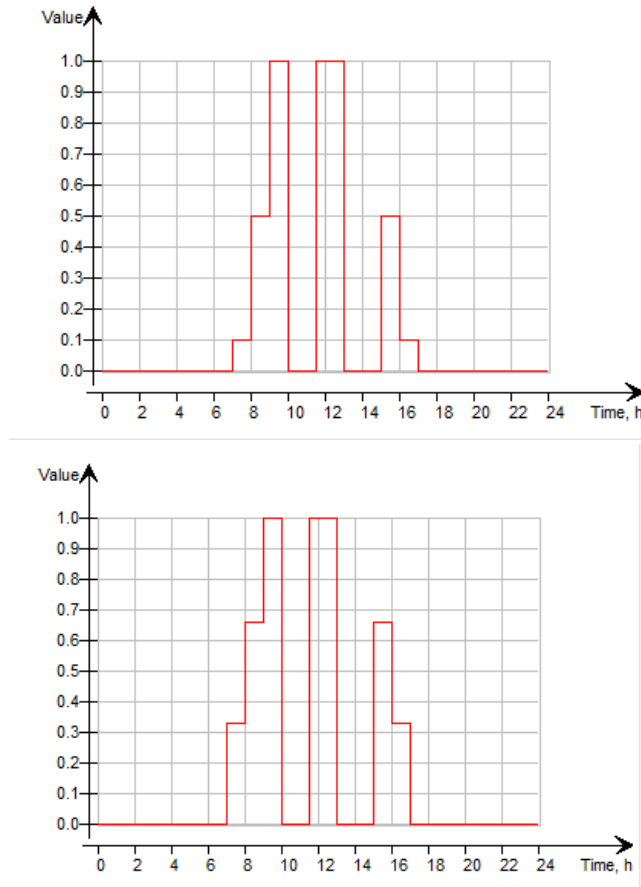
Eftersom värmeförlusterna via ventilation är stora under verksamhetstid, även vid en effektiv värmeväxling, betyder det att antagen energiförlust från ventilation överstiger det verkliga utfallet. Mängden fläktel överskattats också, om flödet är större än utfallet. Slutligen visar jämförelsen i Figur 76 att driftfallet kanske ändras från natt till dag ungefär en och en halv timme efter vad som antagits, vilket ger en mindre energianvändning i verkligheten.

Det är rimligt att approximera ventilationsbehovet så som har skett. Det är bra att antagandet låg på den säkra sidan. I det undersökta fallet innebär det att energianvändning som går åt för värmeförlust genom ventilation samt för att driva ventilationsanläggningen är mindre i verkligheten än vad som antagits vid energiberäkningen.

### **3.8.3 Personnärvaro**

De beräknade värdena kan användas för att jämföra mot de antaganden som gjorts gällande personnärvaro under projekteringen.

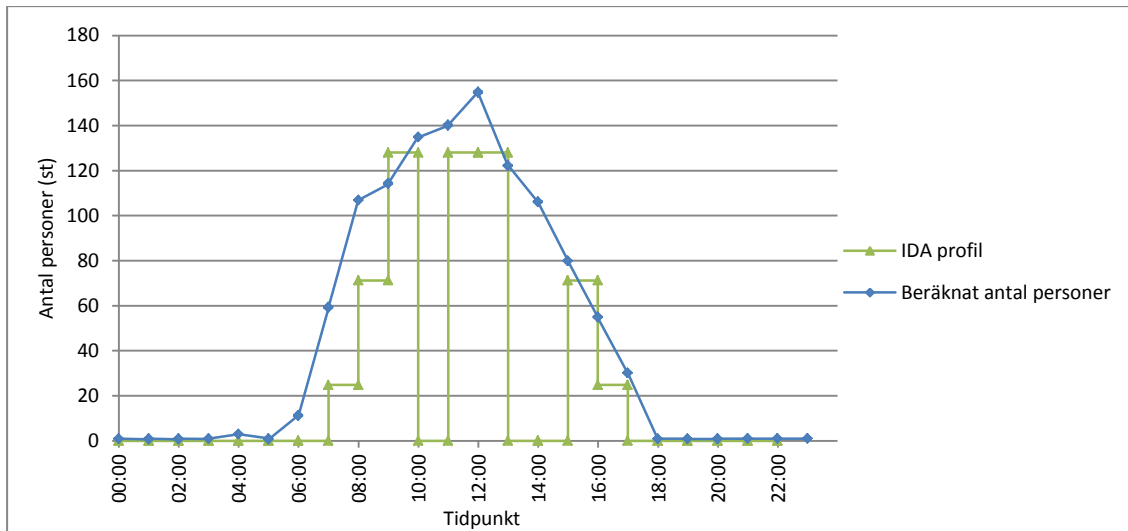
För projekteringen har en uppskattad närvaro för olika rum samt tider erhållits och omsatts till en närvaroprofil samt ett uppskattat antal personer per rum, se Bilaga 2. Antal personer per rum, eller zon, har valts till tre vuxna samt fem barn. Om författarna uppfattat saken rätt är det antingen detta värde eller ingen närvaro alls som använts för energiberäkningar. Det är alltså detta värde som för rum med närvaro skalats enligt närvaroprofiler (se Figur 77).



Figur 77. Närvaroprofilen för barn respektive vuxna. Utdrag ifrån IDA ICE.

Tre vuxna och fem barn är en approximation som stämmer ganska väl med de grupper av mindre barn som vistas i rummen på nedre plan. På övre plan huserar lite äldre barn i större klasser, varför antagandet om fem barn kanske är något underskattat. Dock är det i dessa klasser möjligen mindre antal vuxna och fler barn, men antagandet fortfarande skulle vara underskattat.

Anta att alla grupper och klasser är i sina respektive klassrum enligt den antagna dygnsprofilen. Då skulle personnärvaro variera enligt IDA-profil (se i Figur 78).



**Figur 78. Antal personer i byggnaden. IDA-profilen är baserad på de antaganden som gjorts för energiberäkningen. Beräknat antal personer är baserat på koldioxidmätningar under perioden 2013-01-08 t.o.m. 2013-02-08.**

Jämförs IDA profilen med beräknat antal personer utifrån koldioxidmätningar i Avsnitt 3.4, ser personnärvaron ut att ha underskattats. Enligt profilen sjunker antalet personer till noll klockan 10.00 och mellan klockan 13.00 och 15.00. Det är sannolikt inte helt sant, då ett antal personer stannar säkert kvar i byggnaden även under raster. Emellertid har den använda metoden svårt att reagera på korta intervall. Det beror dels på mätfrekvensen, dels på att koldioxidhalten inte omedelbart sjunker, när personer lämnar byggnaden, utan gradvis klingar av. Personbelastning sjunker förmodligen momentant under raster mer än vad som kan utläsas i den beräknade profilen.

### 3.8.4 Temperaturverkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregat

Den antagna temperaturverkningsgraden i IDA för värmeväxlare är 82% under dagen och 100% nattetid. Enligt resultat som redovisas i Avsnitt 3.5 har medianvärdet för temperaturverkningsgraden under den kalla delen av året beräknats till 80% om ingen korrigering för skillnaden mellan till- och frånluftsflöden görs. Detta stämmer bra överrens med uppgift från produkttillverkare som anger 80,9%. Den vid energiberäkningen antagna temperaturverkningsgraden bedöms därför inte bidra till ytterliggare avvikelser från den uppmätta energianvändningen.

### 3.8.5 Klimatskärmens genomsnittliga U-värde

Det ur beräkningarna erhålla genomsnittliga U-värdet är 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K). Värdet ligger i samma storleksordning som U-värden för tak, ytterväggar och grundplatta som använts i IDA. Dock är det teoretiska U-medelvärdet för byggnaden är 0,13 W/(m<sup>2</sup>·K) och är det värde som borde erhållits om metoden fungerat perfekt. Metoden har en svaghet, eftersom effekten av värmelagring hos byggnaden ej beaktas, vilket delvis kan förklara det något låga resultatet.

### 3.8.6 Tappvarmvatten

Den vid energiberäkningen antagna energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten är 6 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Detta antagande har enligt uppgift grundat sig på brukardata från en skola som uppgetts använda 10 kWh/(m<sup>2</sup>·år) till tappvarmvatten, därav 4 kWh/(m<sup>2</sup>·år) var förluster pga. varmvattencirkulation. Eftersom det inte finns något cirkulerande varmvattensystem ute i skolbyggnaden har värdet antagits till 6 kWh/(m<sup>2</sup>·år) (Adalberth K, personlig kommunikation 2014-05-02).

Enligt Avsnitt 3.8.5 är mängden energi som används för uppvärmning av tappvarmvatten 2,8 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Det betyder att energianvändningen till tappvarmvatten vid projekteringen har överskattats.

Däremot är temperaturen på tappvarmvatten lägre än den ska vara enligt byggreglerna under vissa perioder. Baserat på de mätningar som har gjorts, skulle temperaturen i det cirkulerande systemet behöva höjas med 15°C för att klara gränsvärdet för legionella. Om det antas gälla för hela året, skulle det innebära en ökad energianvändning på ungefär 2700 kWh per år. Det motsvarar en höjning av den totala energianvändningen hos byggnaden med 0,9 kWh/(m<sup>2</sup>·år). För konventionella byggnader är det en rätt låg siffra, men för en energisnål byggnad är detta värde relativt högt. Dock skulle denna ökning möjligen i viss utsträckning sänka andra energiposter, då cirkulationen fungerar som ett värmesystem och hjälper till att värma upp byggnaden, främst köksdelen.



## 4 Diskussion och slutsatser

För att uppnå en högre förståelse kring en byggnads energianvändning och inomhusklimat bör flera parametrar undersökas. Att bara mäta energiposter som ingår i den specifika energianvändningen, d.v.s. energibehovet för värme, kyla, tappvarmvatten och fastighetsel, kommer inte att ge tillräcklig mycket information om byggandets verkliga energiprestanda. Om den projekterade och uppmätta specifika energianvändningen stämmer överrens, kan det bero på att alla antaganden kring de olika parametrarna i energiberäkningsprogrammet var korrekta. Det kan också exempelvis bero på att den verkliga inomhustemperaturen har varit för låg eller att flera elektriska apparater än antaget har använts i byggnaden. Dessa faktorer kan leda till minskat värmebehov och är osynliga i den uppmätta specifika energianvändningen.

Huvudsyftet med denna rapport var att analysera energianvändning och termiskt klimat hos en passivhusskola. Flera parametrar som påverkar energianvändningen och inneklimatet har studerats med hjälp av olika metoder. Dessa metoder har till stor del dragit nytta av data som funnits tillgänglig via skolans befintliga mätsystem. Resultaten pekar på att det är möjligt att studera en byggnads värme- och energitekniska egenskaper genom att applicera dessa metoder. För vissa av de utvecklade metoderna har det varit tillräckligt att jämföra mätvärden direkt mot antagna värden eller krav. Det gäller, till exempel, metoden kring hur lufttemperaturen undersökts. För andra metoder, till exempel beräkning av personvärmen, har mer omfattande beräkningar gjorts. För dessa fall har fler antaganden varit nödvändiga att ta hänsyn till, vilket kan ha ökat osäkerhet av de erhållna resultaten.

Byggnaden som undersökts använder 53% (år 2012) och 34% (år 2013) mindre energi än vad som beräknades under projekteringen. Skillnaden beror sannolikt på att ett antal antaganden varit annorlunda från det verkliga utfallet. Generellt har de antaganden som gjorts vid energiberäkningen och som kunnat analyseras varit på den säkra sidan. Det är något som vid energiberäkningar bör eftersträvas, eftersom det inte leder till orealistiskt positiva resultat. Resultatet indikerar att dessa antaganden ibland har varit väldigt försiktiga. Till exempel, har personvärmen antagits vara mycket låg, varför det räknats med ett lågt energitillskott i form av personvärme. Samtidigt har ventilationen, vilken varierar efter antalet personer, dimensionerats för att klara höga flöden. Dessa flöden har inte under någon av de undersökta tidsperioderna uppnåtts. Skillnaden mellan den projekterade och den uppmätta energianvändningen påverkas även av att lufttemperaturerna inomhus har under 40% av uppvärmningsperioden varit lägre än det avsedda börvärdet. Undersökningen av tappvarmvattens temperatur har även visat att denna har varit för låg och bör höjas. Kombinationen av dessa parametrars inverkan har resulterat i ett mindre energibehov än det predikterade.

De uppmätta lufttemperaturerna har både varit lägre och högre än de inställda börvärden, vilka har varit 23°C och 21°C för vinter- respektive sommartid. Undersökningen av varaktigheten har visat frekvensen med vilka över- och undertemperaturer har förekommit. I två av åtta undersökta rum finns indikationer på att Folkhälsomyndighetens rekommenderade värde för operativ temperatur i rum för känsliga personer endast uppnås i högst 0,5-3% av den kalla mätperioden. Detta indikerar på att vissa undersökta rum är mycket kalla. De lägsta uppmätta lufttemperaturerna har generellt sett förekommit som enskilda temperatursänkningar under olika tidpunkter på dagen, vilket skulle kunna orsakats av vädring. De högsta uppmätta lufttemperaturerna registrerats både som enskilda mätvärden och som resultat av temperaturförändringen under dagen. Under sommaren uppnås



Folkhälsomyndighetens indikerande värden för lufttemperatur under nästan hela mätperioden för alla rum, med få timmar av under- och övertemperaturer.

Den genomförda analysen har alltså visat att det termiska klimatet under uppvärmningssäsongen inte alltid har varit helt tillfredsställande både när det gäller Folkhälsomyndighetens riktlinjer och de inställda börvärden. Detta i sin tur innebär, att den uppmätta energianvändningen inte är helt representativ, då lufttemperaturerna i de studerade rummen har varit för låga. Om temperaturförhållanden inomhus inte är godtagbara, är det omöjligt att göra en rättvis jämförelse mellan den projekterade och den uppmätta energianvändningen. I det studerade fallet har energianvändningen varit mycket lägre än det projekterade värdet. Slutsatsen om byggnadens verkliga energiprestanda kan dock först dras, när detaljerad analys av ingående i energianvändningen parametrar har genomförts och det termiska inneklimatet studerats.

Vidare har undersökningarna visat att inomhustemperaturen i byggnaden generellt är högre under soliga dagar än under molniga dagar. Analysen av min- och maxtemperaturer i förhållande till förekomsten av sol indikerar dock att byggnadens solavskärmningssystem fungerar bra.

När det gäller rummets orientering, har undersökningen påvisat endast en relativ liten inverkan på rummets lufttemperatur. Dock ses en tendens, att rum med fönster belägna i söderläge är något varmare samt att hörnrum är kallare än icke-hörnrum. Resultat av analysen tyder också på att lufttemperaturen på plan 1, där de små barnen vistas, är lägre än på plan 2. Det finns naturligtvis logistiska anledningar till varför de mindre barnen är lokaliserade till plan 1. Ur en termisk synvinkel hade det dock varit fördelaktigt att ha dem på plan 2, vilket har en högre lufttemperatur vid golvet.

Det valda uppvärmningssystemet för den undersökta byggnaden är luftburen värme, vilket innebär att värmebehovet tillgodoses genom att tillföra övertempererad tilluft. Detta system kan teoretiskt sett innebära negativa konsekvenser för det termiska och hygieniska inneklimatet beroende på de förhållanden som råder och de parametrar som påverkar luftrörelserna i lokalerna. Då övertempererad tilluft tillförs, kan det uppstå en termisk skiktning i rummet med högre lufttemperaturer i den övre rumsvolymen och lägre lufttemperaturer i den lägre rumsvolymen, d.v.s. att den varma luften stannar uppe vid taket. Detta påverkar det termiska klimatet genom att både luften och ytorna kan bli kallare i vistelsezonen. Denna effekt blir större i rum med större andel ytor gränsande mot uteluft som, till exempel, i hörnrum. Om den varma luften stannar uppe vid taket, tillförs inte denna vistelsezonen, vilket innebär att tilluften inte kommer människorna tillgodo. En så kallad kortslutning kan istället ske, där tilluften rör sig till frånluftsdonen utan att passera vistelsezonen. Föroreningarna i vistelsezonen förs då inte heller bort, vilket leder till en sämre luftkvalitet.

Det bör även nämnas att de lufttemperaturer som uppmätts med mätsystemet och är placerade i taknivå ej ger en hel bild av hur det termiska klimatet upplevs i vistelsezonen, d.v.s. hur människorna upplever det. Begreppet som återger, hur människan i vistelsezonen upplever det termiska klimatet, benämns operativ temperatur, vilket även innefattar ytornas temperatur. Under uppvärmningssäsongen kommer ytorna dels att vara kallare och på grund av luftvärmens kan det bli en skiktning i höjddled, d.v.s. den operativa temperaturen i vistelsezonen kan antas bli lägre än lufttemperaturen vid tak.

Med hänsyn till de resultat som uppkommit gällande temperaturgradient i klassrum kan det diskuteras, huruvida det är optimalt att mäta lufttemperaturen hos rummen via en temperaturgivare placerad i tak. Resultaten pekar på att det fungerar relativt bra under verksamhetstid då större luftomblandning sker. Under nattetid och helger råder det emellertid en viss skiktning. Detta kan ge upphov till oönskat låg lufttemperatur vid skoldagens start. Det kan även innebära risk för kortslutning mellan till- och frånluftsflödet i systemet. Författarna kan dock inte genom de resultat som presenteras påvisa att kortslutning sker. Om det skulle vara fallet, skulle det dock innebära negativa effekter för luftkvaliteten.

Kortslutning mellan till- och frånluftsflöden skulle även innebära en stor felkälla för vissa delmetoder, mest påfallande beräkningen av personnärvaro. Det är därför viktigt att beakta denna aspekt och om möjligt utarbeta metoder för att snabbt kunna skapa sig en uppfattning om risken för kortslutning föreligger.

Ett resonemang som kan ge upphov till diskussion är de analyser, där uppmätta lufttemperaturer jämförs med rekommenderade operativa temperaturer. Detta resonemang innebär att då rummen saknar varma ytor i form av radiatorer kommer den operativa temperaturen vara lägre än lufttemperaturen, eftersom effekten av den varma strålningen uteblir. Den operativa temperaturen antas dock p.g.a. välisolerat klimatskal vara i samma storleksordning som lufttemperaturen och en indikerande jämförelse mellan dessa kan göras. Dock kommer den operativa temperaturen alltid ligga under lufttemperaturen under vinterhalvåret. Författarna hoppas att det står klart att detta är ett medvetet val som inte görs av misstag utan genomförs då det ger en approximation som bidrar till underlag för fler analyser.

En del av avgränsningen för rapporten gäller hur luftkvaliteten inomhus påverkas av byggnadens installationssystem och driftfall. Luftkvaliteten utgör dock en viktig del av inomhusklimatet och borde således få en given roll vid den här typen av undersökningar i framtiden. I denna rapport användes ventilationsflödet för att bedöma luftens kvalitet men i framtida undersökningar kan koldioxidhalten även användas. Detta då det bör vara relativt enkelt att undersöka genom att studera utslaget hos koldioxidgivare, vilka redan finns installerade i många system.

En intressant studie hade varit att undersöka det upplevda termiska klimatet hos skolor uppförda med passivhusteknik. Det kan förslagsvis ske genom enkätundersökningar, intervjuer och kompletterande mätningar av yt- och operativa temperaturer. Förslagsvis kan undersökningen ske som en fallstudie av Emiliaskolan.

Det är viktigt att inte göra avkall på inomhusklimatet för att spara energi, dels då det motverkar syftet med uppförandet av en byggnad och dels då ett dåligt inomhusklimat kan leda till ökad energianvändning. Exempel på det kan vara ökad vädringsfrekvens vid dålig luftkvalitet, vilket ökar värmeförlusterna genom okontrollerad ventilation. För den undersökta byggnaden är ventilationsflödet godkänt sett till hygieniska krav, vilket bör utgöra en förutsättning för en god luftkvalitet. Vidare fungerar värmeåtervinningen på ett tillfredställande sätt, vilket minimerar värmeförluster ifrån kontrollerad ventilation.

Normalårskorrigeringen har genomförts enligt effektsignaturmetoden. Effektsignaturen och balanstemperaturen kan gälla som referens för jämförelse mot andra byggnader. Den höga upplösningen på data för energianvändning (dygnsvärden) har medfört att effekterna av sol och vind

kunde beaktas. Detta har varit mycket intressant att undersöka och bland annat har det konstaterats att byggnadens klimatskal verkar mycket tätt. Detta är då energianvändningen inte kunnat påvisas stiga samt att inomhustemperaturen inte sjunker för dagar med blåsigt väder. Effekterna av solinstrålning har också kunnat mätas. Resultatet för denna analys tyder på att effektbehovet sjunker något hos byggnaden under dagar med soligt väder.

Uppdelning av soligare respektive blåsigare perioder är intressant att studera. Det bör dock nämnas att uppdelningen av sol respektive vinddata har varit olika. För soldata har ett mellan-intervall införts som inte har inkluderats i analysen, medan för vinddata har alla vindhastigheterna tagits med i undersökningen. Det skulle även vara intressant att studera väderlekens inverkan på energianvändning och inomhusklimat, om uppdelningen av sol- och vinddata hade gjorts på samma sätt, exempelvis om ett mellan-intervall även införts för vindhastigheter.

Metoden där U-värdet undersöks med hjälp av temperaturskillnad i cirkulerande ventilationsluft är enligt författarna en analys som kunde förtjänat större utrymme. Resultatet av undersökningen är ganska rimligt. Dock hade avvikelsen ifrån det teoretiska U-värdet varit intressant att undersöka vidare. I sådana fall kan metoden möjligen utvecklas för att ligga till grund för en framtida metod för verifiering av transmissionsförluster. Ett förslag till framtida studie är att undersöka om metoden direkt går att tillämpa på hus med möjlighet till användning av återluft. Vidare kunde möjligheten, att i en byggnad med andra ventilationsförutsättningar skapa ett tillfälligt system för cirkulering av återluft, undersökas. De parametrarna som behöver mätas vid en sådan metod är lufttemperatur på från- respektive tilluften, utetemperatur samt tilluftsflödet. Detta skulle eventuellt kunna ske med en relativ enkel utrustning likt den som idag används för tryckmätning av klimatskärmen. Genom att istället för tryck mäta just de ovan nämnda parametrarna skulle metoden kunna användas för att verifiera klimatskärmens värmetransmission. Eventuellt skulle dessa två mätningar för värmetransmission och lufttäthet kunna kombineras. Detta skulle kunna ge en kostnadseffektiv metod för att ta fram ett kvitto för byggnadens klimatskal, vilket kunde vara intressant för olika parter i byggbranschen. Det förtjänar att åter igen upprepas att återluft är en lösning som lämnats sedan flera decennier. Metoden ska inte ses som en anledning till att införa återluft.

Vid beräkningen av personvärme är effekten av vädring en stor felkälla, då den sänker den uppmätta koldioxidhalten. Det är även nära tillhands att undra varför metoden testades överhuvudtaget, hade det inte varit enklare att bara titta på ett skolschema? Författarna menar dock att antalet personer i byggnaden fortfarande varierar även under schemalagd tid. Tanken var att ge en mer dynamisk bild av hur personvärmen ändrar sig under dygnet för att underlätta framtida beräkningar av personvärme och ventilationsbehov. Metoden har den fördelen att den inte kräver någon insats ifrån dem som brukar byggnaden. I de fall scheman studerats skulle någon typ av närvaroprotokoll behövt upprättas.

Tappvarmvattnet är kanske den del av undersökningen som har varit enklast att genomföra och också lättast att dra slutsatser om. För den undersökta byggnaden har det förmodligen blivit en miss vid dimensioneringen av värmeväxlaren, cirkulationspumpen eller också är systemet fel inställt. Konsekvensen av detta är att temperaturen hos vattnet i det cirkulerande systemet inte uppfyller Boverkets riktlinjer på minst 50°C. Eftersom temperaturen är för låg, måste detta åtgärdas för att undvika risken för tillväxt av legionellabakterie. Tappvarmvattnets låga temperatur sänker energianvändningen något men utgör inte själv hela skillnaden mellan det projekterade och

uppmätta värdet. Tänkvärt för framtida projekt är dock att tappvarmvatten avsett för storkök ej skall räknas med i den specifika energianvändningen.

I rapporten framtagna värdena för energianvändning, effektsignatur, balanstemperatur, personnärvaro och ventilation kan användas som referens för liknande projekt i framtiden. De referensdata som presenteras kan användas som indata för olika energiberäkningsprogram samt som ett underlag för jämförelse av energi- och värmeteknisk prestanda mellan passivhusbyggnader.

De använda metoderna ger tillsammans en grund för analys av byggnaders energianvändning och inomhusklimat. I denna rapport har metoder för att studera sex parametrar presenterats. Dessa parametrar är lufttemperatur inomhus, ventilationsflöde, personnärvaro, temperaturverkningsgrad hos värmeväxlare, klimatskärmens genomsnittliga U-värde, tappvarmvattens temperatur. Utöver dessa parametrar har även byggnadens specifika energianvändning studerats direkt genom normalårskorrigerad av uppmätt energianvändning. Huruvida dessa parametrar är det mest intressanta att undersöka är öppet för diskussion. En ytterligare parameter som författarna funnit vara intressant att studera är den okontrollerade ventilation som uppkommer till följd av vädring. Detta är eftersom effekten av vädring har varit en återkommande felkälla i flera av metoderna. Att eliminera denna felkälla hade, förutom att stärka relevansen för de enskilda resultaten, också gett en uppfattning om hur stor del av energiförlusten som sker via vädring.

För att få en bra förutsättning för att genomföra de metoder som presenterats i rapporten, krävs att byggnaden är utrustad med ett mätsystem. Detta mätsystem skall vara försett med rätt typ av givare som är placerade på rätt plats. Vidare är det viktigt att mätsystemet och att den digitala tjänsten är rätt inställda. Författarna har under fallstudien sett exempel på hur stora tidsperioder av mätdata saknats då dessa inte blivit överförda ifrån DUC:en. Vidare har det även observerats tillfällen där givare varit fel placerade, ej inkopplade eller mätt i fel enhet.

Överlag måste det studerade objektet Emiliaskolan framhållas som ett angenämt projekt att jobba med. Objektet har tillgodohållit väldigt mycket data då det har varit utrustat med ett stort antal mätpunkter. Att skolan är relativt nybyggd med moderna installationer gjort också lätt att få tillgång till bygghandlingar och information kring installationer.

Med en relativt liten ansträngning och ekonomisk insats skulle det sannolikt vara möjligt att verifiera och analysera energianvändning och inomhusklimat i långt större utsträckning än vad som sker i nuläget. Detta genom att utnyttja de redan installerade och finansierade mätsystem som finns i många byggnader idag.



## Litteraturförteckning

- Abel, E., & Elmroth, A. (2006). *Byggnaden som system*. Forskningsrådets Formas och författarna.
- Andrén, L., & Tirén, L. (2012). *Passivhus. En handbok om energieffektivt byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Arbetslivsinstitutet. (2006). *Arbetslivsrapport nr 2006:2. Det termiska klimatet på arbetsplatsen*. Arbetslivsinstitutet och Lunds Universitet.
- Bagge, H. (2007). *Energy Use in Multi-family Dwellings. Measurements and Methods of Analysis*. Lunds University.
- Bagge, H. (2007). *Energy Use in Multi-family Dwellings. Measurements and Methods of Analysis*. Lund: Lunds University.
- Bagge, H. (2011). *Building Performance- Methods for Improved Prediction and Verification of Energy Use and Indoor Climate*. Lund: Building Physics LTH.
- Bagge, H., & Johansson, D. (2009). Energy use in multi-family dwellings - Requirements and Verification. *Nordic Conference on Construction Economics and Organization*, (ss. 185-192). Reykjavik.
- Bagge, H., & Johansson, D. (2009). *Energy Use in Multi-family Dwellings- Requirements and Verification*. Lund University.
- BBR. (2012). *Regelsamling för byggande, BBR*. Boverket.
- Bergsten, B. (2001). *Energiberäkningsprogram för byggnader- en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv.
- Bokalders, V., & Block, M. (2009). *Byggekologi. Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket. (den 06 05 2014). Hämtat från [http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2007/Indata\\_for\\_energiberakning\\_i\\_kontor\\_och\\_smahus.pdf](http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2007/Indata_for_energiberakning_i_kontor_och_smahus.pdf)
- Boverket. (den 01 05 2014). *Har du legionellabakterier i dina vattenledningar?* Hämtat från [http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2000/har\\_du\\_legionellabakterier\\_i\\_dina\\_vattenledningar.pdf](http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2000/har_du_legionellabakterier_i_dina_vattenledningar.pdf)
- Coley, D., & Beisteiner, A. (2003). Carbon dioxide levels and Ventilation Rates in Schools. *International Journal of Ventilation*, 1:1, 45-52.
- Dahlblom, M., & Jensen, L. (2014). *Vertical temperature increase in multi-storey buildings*. Lund: Lunds University, Division of Building Services.
- Energimyndigheten. (2013). *Energiläget*. Energimyndigheten.

- Europaparlamentet. (2010). *Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU om byggnadens energiprestanda*.
- Fanger, P. (1997). Indeklima. i H. Hansen, P. Kjerulf-Jensen, & S. O.B, *Danvak. Varme- og klimateknik*.
- FEBY. (2008). *Kravspecifikation för passivhus i Sverige - Energieffektiva bostäder*. Forum för energieffektiva byggnader.
- Fjällström, P., Bloom, E., & m.fl. (2014). *Åtgärder för att förbättra tilluftens kvalitet på kontor*. Svenska Miljöinstitutet.
- Folkhälsomyndighet. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus (2014:17)*. Folkhälsomyndighetens författningssamling.
- Folkhälsomyndigheten. (den 01 05 2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*. Hämtat från <http://www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter/Allmanna-rad-ventilation-fohmfs-2014-18.pdf>
- Hansen, H., Jensen, P. K., & Stampe, O. (1997). *Danvak - Varme- og Klimateknik, Grundbog*. Danmark: Danvak ApS, 2:a utgåvan 1:a upplagan ISBN: 87-982652-8-8.
- Hansen, H., Kjerulf-Jensen, P., & Stampe, O. B. (1997). *DANVAK. Grundbog. Varme og Klimateknik*.
- IDA. (den 07 05 2014). *IDA Klimat och Energi 3.0. Användarmanual*. Hämtat från EQUA Simulation: <http://www.equa.se/deliv/ice3sv.pdf>
- Jensen, L. (2007). *Värmeväxling. Kursmaterial Installationsteknik FK*. Lund: LTH.
- Johansson, D. (2005). *Modeling Life CycleCost for Indoor Climate Systems*.
- Karlsson, F., Rohdin, P., & Persson, M.-L. (2007). Measured and predicted energy demand in a low energy building: important aspects when using Building Energy Simulations, Building Service Engineering Research and Technology. *The Chartered Institution of Building Services Engineers*, 223-235.
- Nevander, L., & Elmarsson, B. (2009). *Fukthandbok*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Onset. (den 05 05 2014). *Data-sheet HOB0 U12 Logger*. Hämtat från <http://www.onsetcomp.com/files/data-sheet/Onset%20HOB0%20U12%20Data%20Loggers.pdf>
- Ruch, T., & Patton, H. (1965). *Physiology and biophysics*. Philadelphia .
- SCB. (den 01 05 2014). *Undersökningarna av levnadsförhållanden (ULF/SILC)*. Hämtat från [www.scb.se: http://www.scb.se/sv/\\_Vara-tjanster/SCBs-data-for-forskning/SCBs-datalager/Undersokningarna-av-levnadsforhallanden-ULFSILC/](http://www.scb.se: http://www.scb.se/sv/_Vara-tjanster/SCBs-data-for-forskning/SCBs-datalager/Undersokningarna-av-levnadsforhallanden-ULFSILC/)
- Schultz, L. (2003). *Normalårskorrigerig av energianvändningen i byggader- en jämförelse av två metoder*. ISBN: 91-7848-932-6.
- Silbernagel, S., & Despopoulos, A. (2009). *Color Atlas of Physiology*. Thieme Publishing.

- SMHI. (den 01 03 2014). *Skalor för vindhastighet*. Hämtat från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/skalor-for-vindhastighet-1.252>
- Socialstyrelsen. (den 01 04 2014). *Socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus, 2005:15*. Hämtat från [http://www.malmo.se/download/18.76105f1c125780a6228800042718/1383643857283/inomhusstemperatur\\_socstyrelsen.pdf](http://www.malmo.se/download/18.76105f1c125780a6228800042718/1383643857283/inomhusstemperatur_socstyrelsen.pdf)
- SVEBY. (den 01 04 2014). Hämtat från <http://www.sveby.org/rapporter/>
- SVEBY12. (den 01 05 2014). Hämtat från [http://www.passivhuscentrum.se/sites/default/files/kravspecifikation\\_feby12\\_-\\_lokaler\\_sept.pdf](http://www.passivhuscentrum.se/sites/default/files/kravspecifikation_feby12_-_lokaler_sept.pdf)
- Svensson, E. (2012). *Passivhusläget i Sverige 2012 – en sammanställning kring byggandet av passivhus i Sverige*. Borås: Högskolan i Borås.
- Warfvinge, C. (2003). *Installationsteknik AK för V*. Lund: Lunds Universitet.
- [www.hitta.se](http://www.hitta.se). (u.d.).



## **Bilaga 1- Produktbeskrivning för TTC- Aktivt taktilluftsdon**

## TTC – Aktivt taktilluftsdon

### Introduktion

Det aktiva tilluftsdonet TTC är takmonterat och framtaget för att kunna styra inomhusklimat med undertempererad tilluft utan att få dragproblem vid reducerade luftflöden. Donet är utrustat med givare och styrelektronik som optimerar luftflöden med hänsyn till aktuellt kylbehov i rummet. TTC i kombination med reglering för frånluftsbalansering minskar energianvändningen och bidrar aktivt till ett bra inomhusklimat.

Donet är försett med:

- flödesgivare
- närvarodetektor
- temperaturgivare
- IR-länk för kommunikation med dator
- nätverkskommunikation

### Energibesparingspotential

Med TTC finns verktygen för en optimerad VAV-funktion. Erfarenhet visar att relativt en CAV-lösning kan följande besparingar uppnås:

- > 90% tilluftsvärme
- 50% fläktel
- 25% kyla
- 15% radiatorvärme
- 50% belysningsel

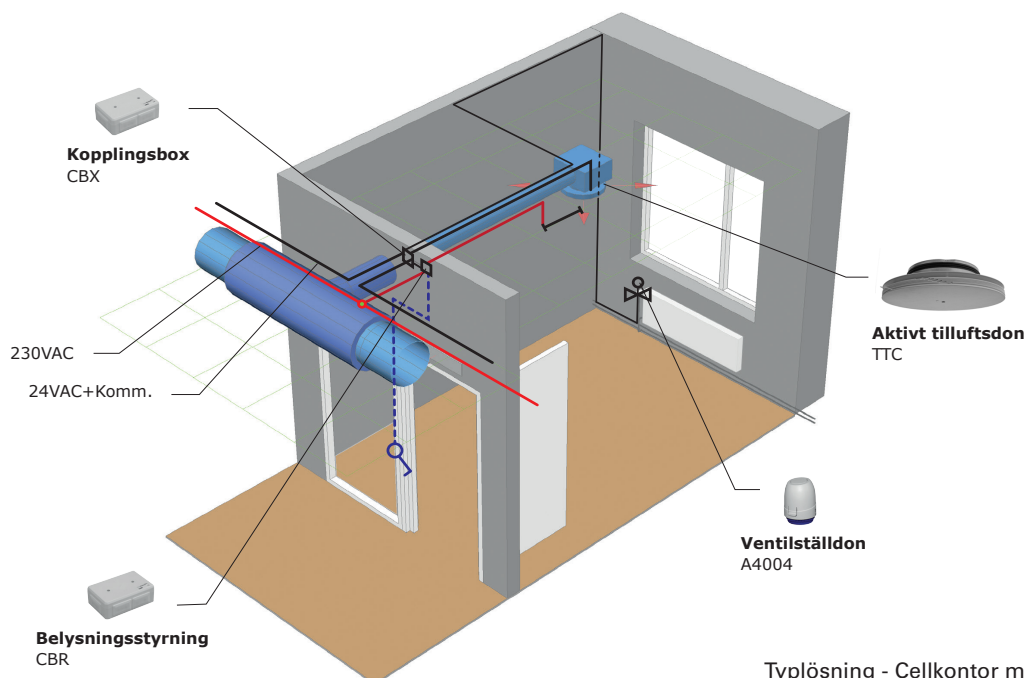


TTC - Det aktiva takmonterade tilluftsdonet.

### Enkelhet

TTC har tagits fram med enkelhet som ledstjärna. Enkelhet vid projektering, installation och drift. Detta innebär bl a:

- minimerade byggmått
- inbyggda givare
- inbyggd styrelektronik
- fabrikskalibrerad
- injustering och felsökning m.m. kan göras med handdator via IR
- enkelt montage i undertak med donlåda HTK eller som frihängande don med donlåda HTR



Typlösning - Cellkontor med TTC.

## TTC – Aktivt taktilluftsdon

### Vid renovering

Genom att isolera stamkanaler för tilluft, undertemperera tilluften, installera tilluftsdon TTC med flödesbalansering på "korridor nivå" med DCV-FB erhålls en kostnadseffektiv klimatisering.

### Funktion

TTC är ett taktilluftsdon med variabel spalshöjd för konstant inblåsningshastighet. Spalshöjden styrs av en motor som öppnar eller stänger ett lamellpaket som sörjer för hög utloppshastighet på luften till låg ljudnivå. Detta medför en stark medinjektion, god omblandningseffekt, ringa temperaturgradienter i normala rum och att kallras undviks. Redan efter 1,5 m har luftstrålen nått rumstemperatur.

### Flödesgivare

I syfte att kunna min- och maxbegränsa flödet samt att låta flödet vara tryckoberoende är TTC utrustad med flödesgivare. Givaren ger också aktuellt tryck i donlådan.

### Närvarodetektor

Närvaroflöde, ekonomi- och komfortläge samt belysningsstyrning är några funktioner som kan aktiveras via den integrerade närvarogivaren för att minimera energianvändningen och för att samtidigt leverera ett önskat klimat. Vid normal takhöjd i ett cellkontor är detekteringsradien 2,5 meter.

### Temperaturgivare

En temperaturgivare är placerad på sidan av donet nedanför inblåsningssluffen, där den mäter rummets verkliga temperatur d.v.s. luften efter omblandning i lokalen.

### IR-länk

Kommunikation kan upprättas mellan donet och en PC via IR-adaptör U2IR.

### Nätverkskommunikation

Ett TTC don ansluts med nod-ID till ett kommunikationsnätverk. Överordnade system kan då användas för att summera flöden eller styra donet etc.

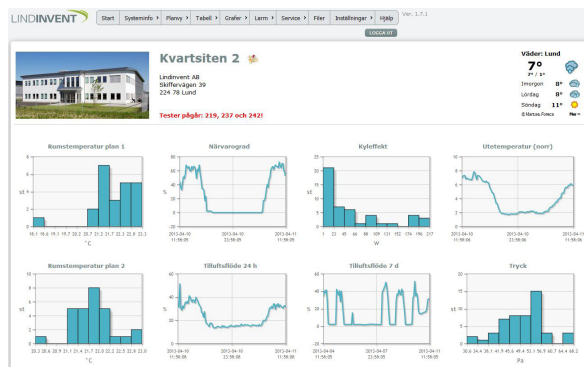


TTC monterat i undertak.

### Kommunikation

Följande användargränssnitt för läsning och inställning av det aktiva tilluftsdonets är- och börvärden m.m. finns tillgängliga:

- dator via kommunikation med U2IR.
- Mini-DUC CMA via kommunikations slinga m.h.a. CAN-protokoll (LCCP).
- webbserver LINDINSPECT eller överordnat system via mini-DUC CMA och Modbus RTU.



Exempel på instrumentpanel i LINDINSPECT.

### Kalibrering

TTC förkalibreras med hög noggrannhet i fabrik. Nätverksinställningar, balanseringszoner och liknande justeras på plats i anläggningen.

### Larm

TTC har ett antal inbyggda larm och kan larma via nätverkskommunikation.

# TTC – Aktivt taktilluftsdon

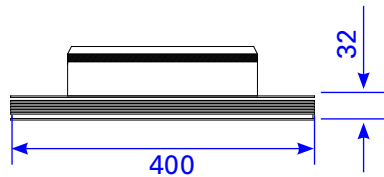
## Tekniska specifikationer

### Allmänt

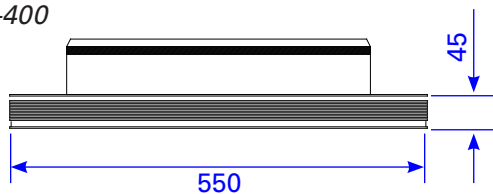
#### Dimensioner (mm)

För mått på donlåda se produktbeskrivningen för HTK (doltmontage) eller HTR (Synligt montage).

TTC-250



TTC-400



### Material

Epoxilackerad stålplåt.

### Färgkulör

RAL 9003 i standardutförande.  
Valfri färg kan specialbeställas.

### Elsystem

#### Matningsspänning

24 VAC

#### Effekt

2 VA i vila  
4 VA i reglerögonblick (ca 50–100 h/år)

### CE-märkning

Uppfyller EMC och lågspänningsdirektivet

## Reglering

### Intervall

Tryckområde:

TTC250: 30–120 Pa

TTC400: 30–120 Pa

Önskas högre tryckområde (max 250 Pa) anges detta vid beställning.

Flödesområde:

TTC250: 3–65 l/s

TTC400: 5–100 l/s

### Hastighet

Maximal förändring reglerad inom ca 2 min.

### Noggrannhet

+/- 1 l/s i lågt flöde

+/- 2 l/s i högt flöde

### In- och utsignaler

(Via kopplingsbox CBX)

#### Insignaler

2 st 0–10 VDC

1 st 1–6 VDC för flödesgivare GFI eller slavreglering DCV-SL.

Ingång för belysningskort CBR.

#### Utsignaler

2 st 0–10 VDC

1 st 24 VACTRIAC

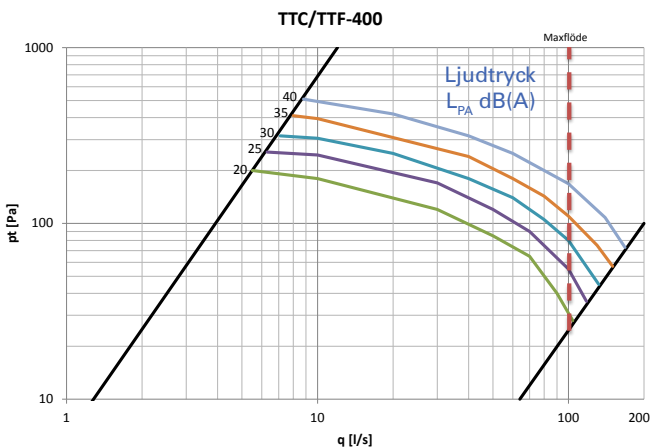
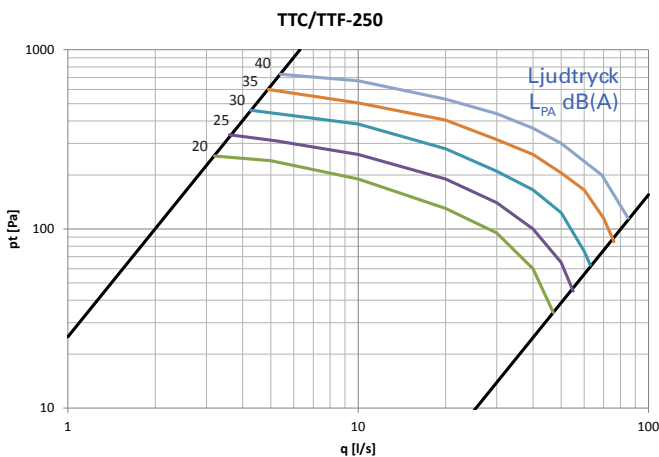
### Tryck, flöden och ljudnivåer

Se sida 4.

# TTC – Aktivt taktilluftsdon

## Tryck, flöden och ljudnivåer

Ljudtrycksnivåerna  $L_{PA}$  i diagrammen motsvarar A-vägd ljudnivå i efterklangsfältet vid 10 m<sup>2</sup> ekvivalent ljudabsorptionsarea. Det motsvarar 4 dB rumsdämpning i ett normaldämpat rum med 25 m<sup>3</sup> rumsvolym. Till höger följer exempel på korrigeringar vid andra typer av rum.



### Övriga korrigeringar

Ljudeffektsnivå/oktavband:  $L_w$  dB

Ljudtrycksnivå:  $L_{PA}$  dB(A) (avläses ur diagram)

Korr:  $K_0$  dB (avläses ur tabell 1)

$$L_w = L_{PA} + K_0$$

Egendämpning enligt tabell 2-5.

Mätningarna har utförts enligt ISO 9614-2 samt ISO 691:1995.

Rumsvolym	Typ av rum	Korrigerig
25 m <sup>3</sup>	hårt rum	+2 dB
25 m <sup>3</sup>	normalt rum	0 dB
25 m <sup>3</sup>	dämpat rum	-2 dB
150 m <sup>3</sup>	hårt rum	-3 dB
150 m <sup>3</sup>	normalt rum	-5 dB
150 m <sup>3</sup>	dämpat rum	-7 dB

Tabell 1: Korrektionsfaktorer,  $K_0$  [dB]

TTC/TTF	Oktavband [Hz]							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250	10	2	-1	-2	-1	-2	-9	-11
400	15	5	-3	-4	0	-2	-14	-11

Tabell 2: Egendämpning [dB] / TTC med donlåda HTK

TTC/TTF+HTK	Oktavband [Hz]							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250	11	20	25	24	29	23	27	27
400	19	16	25	29	28	23	24	27

Tabell 3: Egendämpning [dB] / TTC med donlåda HTR

TTC/TTF+HTR	Oktavband [Hz]							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250	17	17	19	22	24	22	22	26
400	16	12	19	23	22	21	20	23

Tabell 4: Egendämpning [dB] / TTC med platta kanalen PBF

TTC+PBF+PBFA	Oktavband [Hz]							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250 utan*	3	6	6	4	9	11	13	15
250 med*	9	7	9	15	19	31	30	28

Not\*: Med eller utan 20 mm isolering i PBF.

Tabell 5: Egendämpning [dB] / Enbart spridardelen TTC

TTC/TTF	Oktavband [Hz]							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250	20	22	15	18	18	15	16	21
400	21	19	15	21	17	15	14	20

## TTC – Aktivt taktilluftsdon

### Tillbehör

#### Flödesbalansering

TTC har möjlighet att styra ett frånluftsspjäll utrustat med spjällmotor och flödesgivare för balansering, se slavreglering DCV-SL. För balansering av flera samverkande TTC-don, se DCV-FB.

#### Belysningsstyrning

Med den separata belysningsstyrningsboxen CBR kan belysning styras via närvarogivare och/ eller manuellt via tryckknapp.

#### Radiatorstyrning

Ventilställdon kan anslutas för stegvis reglering av radiatorer för tilläggsvärme. Det finns en inbyggd funktion för kallrasskydd.

#### Elradiatorstyrning

Med styrboxen CBT kan ett värmebatteri eller en elradiator styras.

#### Fläktluftkylning

Med styrboxen för fläktluftkylare CBF kan tilläggskyla kopplas in stegvis.

#### Koldioxidgivare (CO<sub>2</sub>)

Genom att ansluta koldioxidgivare kan man åstadkomma perfekt luftkvalitet, rätt koldioxidhalt och rätt temperatur. Enheten finns både som väggivare (GTQV) och kanalgivare (GTQD).

#### Börvärdesomställare

För att ändra temperaturbörvärdet i ett rum kan man installera GTV-O som är en väggmonterad omställare för ändring av temperaturbörvärde.

#### Extern närvarogivare

Extern närvarogivare för alternativ placering av detektor kan kopplas in.

#### Fjärrströmbrytare

Som tillbehör till TTC kan den trådlösa sändaren WTR anslutas för styrning av fjärrströmbrytare WRS. Funktionen ger möjlighet att begränsa förbrukning av el till kringutrustningar vid frånvaro.

## **Bilaga 2- Närvaroprofil för Emiliaskolan**

- Emiliaskolan | närvaroprofil

### Bottenvåning

kl 6.30-8 per avdelning: 1-2 barn och 1 vuxen

kl 8-9 per avdelning: 7-8 barn och 2 vuxna

kl 9-15 per avdelning: 15 barn och 3 vuxna

kl 15-16 per avdelning: 7-8 barn och 2 vuxna

kl 16-17.30 per avdelning: 1-2 barn och 1 vuxen

### Ovanvåningen

Kl 6.30-8 hela ovanvåningen: 50 fritidsbarn och vuxna

kl 8-16 per klass: 25 barn och 2 vuxna

kl 16-17.30 hela ovanvåningen: 50 fritidsbarn och vuxna

Med vänliga hälsningar

- prime project ab

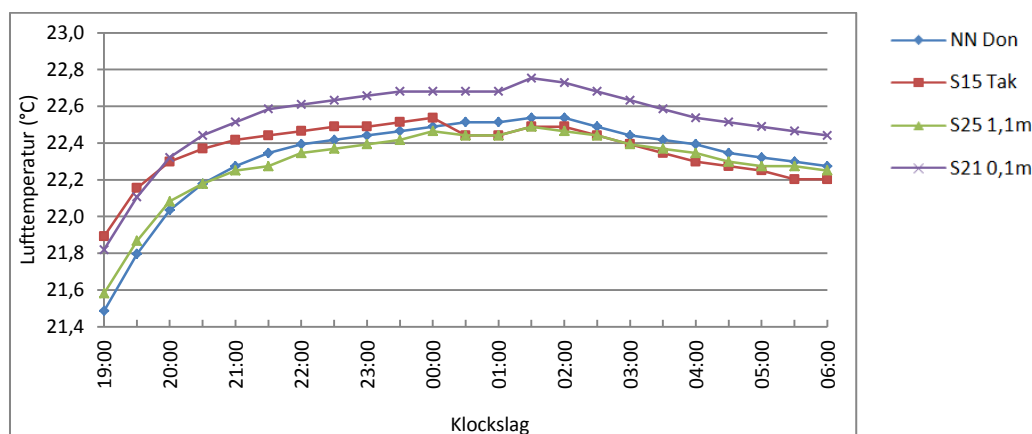
Karin Adalberth  
karin.adalberth@primeproject.se  
direct +46 (0)70 358 62 32



## Bilaga 3-Kalibrering av temperaturgivare

Temperaturloggrar HOBO U12 som använts för mätningar av lufttemperaturen har en mätnoggrannhet på  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$  i klimat med en temperatur mellan  $0^{\circ}\text{C}$  och  $50^{\circ}\text{C}$  (Onset, 2014).

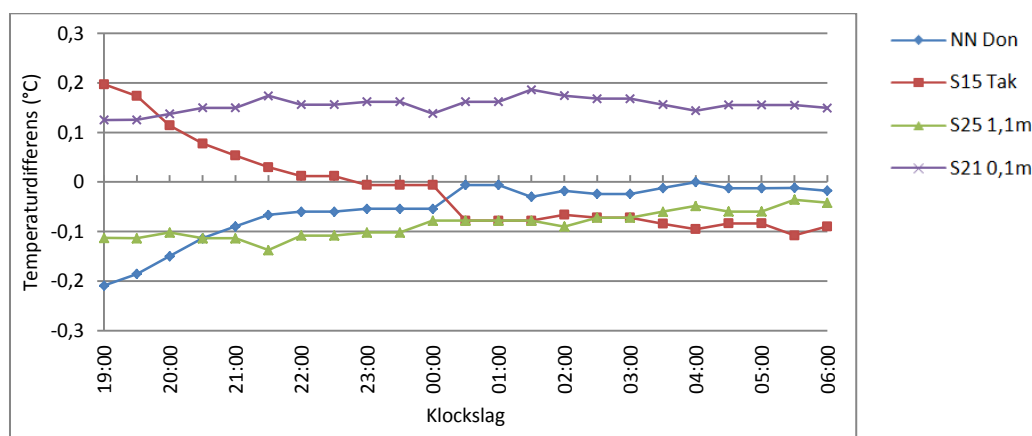
Loggrarna har ej kalibrerats i temperaturkammare innan mätningen. Dock har en undersökning utförts, där loggrarna utsätts för samma klimat i syfte att se hur mycket de internt skiljer i uppmätta temperaturerna. Resultatet redovisas i Figur 1 och Figur 2.



Figur 1. Uppmätt lufttemperatur för de fyra loggrarna som var placerade i rum 237

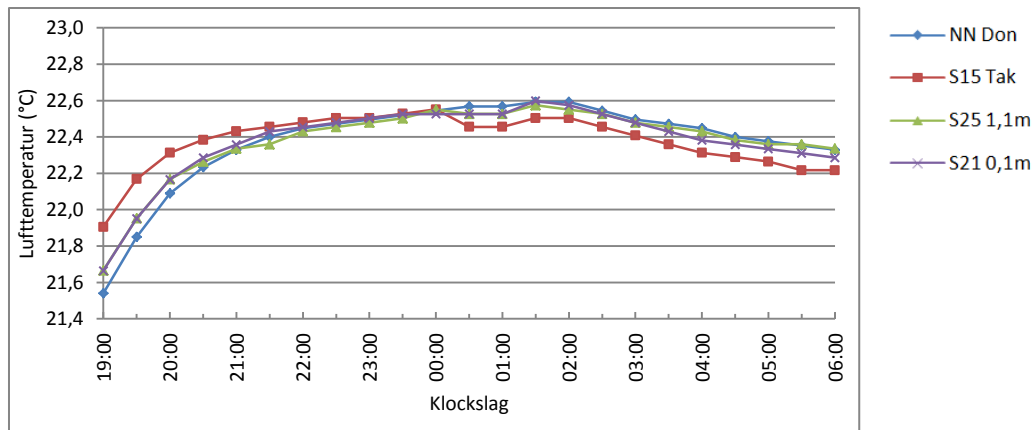
Lufttemperatur av miljön där loggrarna används ligger kring  $22^{\circ}\text{C}$ . Ur i Figur 1 framgår att det skiljer upp till  $0,3^{\circ}\text{C}$  mellan loggrarna vid denna temperatur. Det kan jämföras med av tillverkaren angiven mätnoggrannheten på  $0,35^{\circ}\text{C}$ .

Figur 2 visar varje individuell loggers avvikelse emot medeltemperaturen, vilken beräknats som medeltemperaturen av samtliga loggrar.



Figur 2. Differensen mellan den individuella loggers uppmätta temperatur och medeltemperaturen för samtliga loggrar för rum 237

Differensen mellan loggers utslag och medeltemperaturen motsvarar loggers förväntade fel. De uppmätta värdena har därför justerats med hänsyn till avvikelsen, vilket resulterat i en mindre spridning av hos den uppmätta temperaturen, vilket redovisas i Figur 3.



**Figur 3. Uppmätta temperaturer, justerade efter att ha tagit hänsyn till avvikelsen som redovisats i Figur 2**

Samma kontroll och justering sker analogt för fyra andra mätare, vilka placerats i rum 168.

## Bilaga 4- Intervju med rektor Lena Johnsson

### Frågor till Lena Johnsson, 2014-03-10

Vi är väldigt tacksamma att du tar dig tiden att svara. Innehållet i ditt svar kan komma att användas i rapporten och publiceras.

#### Frågor gällande belägningen

1. Hur många elever(inklusive dagis) har skolan i dagsläget? Gärna fördelat på årskurs om det är möjligt.

*Svar: 285, varav 130 är i åldern 1-5år*

2. Hur många anställda vistas i skolan under en normal arbetsdag (07-18)?

*Svar: 55 anställda*

3. Finns det möjlighet att ta del av några generella scheman? Vi är intresserad av om det finns några gemensamma hållpunkter, ex om det ligger en större gemensam rast vid 10 osv.

*Svar: Gemensam rast 9.30-9.50*

4. Under perioden 2013-01-08 tom 2013-02-08, var det någon måndag där eleverna var lediga ifrån skolan?

*Svar: Studiedag 8/1*

5. Under perioden 2013-11-01 tom 2013-11-30, var det någon vecka där eleverna var lediga ifrån skolan? Var det också någon aktivitet i skolan under kvällstid?

*Svar: Höstlov 28/10 - 1/11, annars nej.*

<i>I övrigt,</i>	<i>Sportlov 2013:</i>	<i>18/2 – 22/2</i>
	<i>Påsklov 2013:</i>	<i>25/3 – 28/3</i>
	<i>Sportlov 2014:</i>	<i>17/2 – 21/2</i>

## Frågor gällande det upplevda klimatet

1. Har du själv upplevt problem med låga temperaturer inomhus? – *Ja, på sitt rum. Temperaturen är bra på morgonen, men sjunker under dagen eftersom hon är ensam på rummet och inte kan generera den värmeeffekt som behövs för att bibehålla temperaturen.*

*Har satt in en liten värmefläkt, mår fysiskt dåligt av den låga temperaturen.*

*Även konferensrummet upplevs som kallt, kallas för "kylskåpet" bland personalen. Men om man har möte med 7-8 personer brukar det vara okej efter ett tag.*

2. Har du fått rapporter om problem med låga temperaturer inomhus ifrån anställda/elever?
  - *Vissa barn tycker att det är kallt, speciellt de som sitter mycket på golvet.*
  - *I avdelningen för de minsta barnen blir situationen ännu något värre då dörren ofta är öppen. Personalen går nämligen mycket in och ut för att lägga barnen i barnvagnar utanför.*
3. Om ja på någon av ovanstående, har det genomförts någon åtgärd för att avhjälpa problemet?
  - *Oljeradiatorer ska installeras i Lenas kontor och Konferensrummet.*
4. Har du själv upplevt problem med drag inomhus? - *Nej*
5. Har du fått rapporter om problem med drag inomhus ifrån anställda/elever? - *Nej*
6. Om ja på någon av ovanstående, har det genomförts någon åtgärd för att avhjälpa problemet?
7. Har du själv upplevt problem med höga temperaturer inomhus? – *Ja*
8. Har du fått rapporter om problem med höga temperaturer inomhus ifrån anställda/elever?
  - *Ja, under varma delen av året. Särskilt i rum med många elever. Samt i rektorsassistentens kontor som ej har öppningsbart fönster*
9. Om ja på någon av ovanstående, har det genomförts någon åtgärd för att avhjälpa problemet?
  - *Bordsfläkt på kontor*
10. Har du själv upplevt problem med dålig luft? - *Nej*
11. Har du fått rapporter om problem med dålig luft ifrån anställda/elever?
  - *Ja, det är ett klassrum som rapporterat problem*
12. Om ja på någon av ovanstående, har det genomförts någon åtgärd för att avhjälpa problemet?
  - *Nej*

Hur nöjd skulle du säga att du är med skolans inneklimate?

*Känns behagligt generellt, även om det kan vara ansträngt vid extremt låga och höga utomhustemperaturer. Men det går att leva med, och man kan göra små anpassningar i sitt beteende för att klara även detta.*

Övrigt:

*Den automatiska solavskärmningen lämnar lite att önska. Ibland skulle man vilja kunna reglera den själv då man vill ha in mer eller mindre ljus för stunden. Persiennerna går till exempel ned vid disigt väder. Solavskärmningen upplevs även ha lite sämre kvalitet och går sönder lite då och då.*