HÖGSKOLAN
I GÄVLE

AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik

Hur kan en skola med högre energianvändning än det svenska genomsnittet energieffektiviseras?

Energikartläggning

David Andersson
Philip Olsson

2017

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Energisystem
Energisystemingenjör, Co-op

Handledare: Arman Ameen
Examinator: Nawzad Mardan

Sammanfattning

Europeiska unionen som helhet är en av de största energianvändarna och har en av världens största utsläpp av växthusgaser. För att minska globala uppvärmningen har mål sats upp för att medeltemperaturen på jorden inte ska öka mer än 2 grader sen förindustrielltid. Närmare 40 % av Sveriges totala energianvändning kommer från bostads- och servicesektorn detta i samband med att 2020-målen närmar sig bidrar till att energieffektiviseringar i byggnader blir allt mer essentiellt. Energikartläggningar är ett verktyg för att bestämma vad som har störst energibesparingspotential innan effektiviseringsåtgärder sker.

Examensarbetet inkluderar en energikartläggning av Trödje skola som förvaltas av Gavlefastigheter. Arbetet är utfört med simuleringsverktyget IDA Indoor Climate and Energy. IDA ICE användes för att modulera den befintliga byggnaden där all data för skolan inkluderades. Rapportens vision är att undersöka hur mycket energi som är möjlig att spara genom energibesparingsåtgärder samt vilken åtgärd som är effektivast.

Energibesparingspotentialen i skolan är hög, skolan använder 42,6 kWh/m^{2}år mer än genomsnittet för Gavlefastigheters skolor vilket motsvarar 21 %. Resultaten visar att skolans komplexitet samt att påbyggnationen även kallad paviljongen är en stor faktor till att energianvändningen är hög. Skolans energianvändning har en potential att minska med 17 % vilket inte motsvarade det uppsatta 25 % - målet med arbetet. Arbetet visar att störst besparingspotential finns via byte av fönster och värmeväxlare i ventilationssystemet men även att de åtgärder som antas ge störst besparing inte alltid är effektivast.

Nyckelord: Energikartläggning, IDA Indoor Climate and Energy, IDA ICE, energibesparing, energieffektivisering, lågstadie- och mellanstadieskola.

Abstract

The European Union as a whole is one of the largest energy users and has one of the world's largest greenhouse gas emissions. To reduce global warming, targets have been set to ensure that the average temperature on the earth does not increase more than 2 degrees since the pre-industrial time. Nearly 40% of Sweden's total energy use comes from the building and services sector which in context with that the 2020 targets approaching contributes to the increased need of higher energy efficiency of buildings. Energy audits is a tool for determining what has the greatest potential for saving energy before efficiency measures occurs.

The thesis includes an energy audit of Trödje primary and middle school, administered by Gavlefastigheter. The study was performed using IDA Indoor Climate and Energy simulation tool. IDA ICE was used to modulate the existing building where all data for the school was included. The vision of the thesis is to investigate how much energy which is possible to save through energy saving measures and which action that is most effective.

The potential energy saving in the school is high, the school uses 42.6 kWh/m^2year more than the average for Gavlefastigheter schools, which corresponds to 21 %. The results show that the complexity of the school and the reconstruction, also called the paviljong, are a major factor in the high energy consumption. The school's energy use has a potential to decrease by 17 %, which did not correspond to the 25 % target set for the work. The work shows that the greatest savings potential exists through the exchange of windows and heat exchangers in the ventilation system, but also that the measures that are assumed to give the greatest savings are not always the most effective.

Key words: Energy audit, IDA Indoor Climate and Energy, IDA ICE, energy saving, energy efficiency, primary and middle school.

Förord

Examensarbetet innefattar 15 högskolepoäng och en kandidatexamen vid akademin för teknik och miljö på Högskolan i Gävle. Arbetet genomfördes vårterminen 17 och innehåller en energikartläggning på en skola utanför Gävle utförd med simuleringsverktyget IDA ICE.

Vi vill tacka vår handledare Arman Ameen för all hjälp under examensarbetets gång. Vi vill även tacka Roland Forsberg för hjälp vid ventilationsmätningar.

Gävle 2017-06-04

David Andersson

Philip Olsson

Enhetsbeskrivning

Q	Värmemängd	[W/K]
A_{temp}	Uppvärmd area	[m^2]
q_v	Ventilationsflöde	[l/s]
U	värmegenomgångstal	[W/m^2K]
R	Värmeövergångsmotstånd	[m^2K/W]
P	Effekt	[W]
E	Värmeenergibehov	[Wh]
v	Hastighet	[m/s]
d	Diameter	[m]
q_v	Ventilationsflöde	[l/s]
ΔP	Tryckskillnad	[Pa]
FTX	Från- tilluft värmeväxlare	
k	k-värde	

Innehåll

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Problembeskrivning 2
1.3 Syfte & Mål 2
1.4 Frågeställningar 2
1.5 Avgränsningar 3
1.6 Omfattning 3
1.7 Målgrupp 3
2 Teori 5
2.1 Energibalans i byggnaden 5
2.1.1 Värme förlust via transmission 5
2.1.2 Värmebehov för ventilation 6
2.1.3 Oavsiktlig ventilation eller luftläckage 7
2.1.4 Gratisvärme 7
2.1.5 Energibehov under ett år 7
2.2 Nattkyla 8
2.3 Tappvarmvatten 8
2.4 Energibeteende 8
2.5 Konventionella energibesparingsåtgärder 9
2.5.1 Tilläggsisolering 9
2.5.2 Byte av fönster 9
2.5.3 Byte av lampor 9
2.5.4 Byte av energibärare 10
3 Metod 11
3.1 Energikartläggning 11
3.2 IDA ICE 12
3.3 Datainsamling 12
3.4 Energianvändning i skolor 12
3.5 Förordning om energideklaration för byggnader 13
3.6 Objektbeskrivning 14
3.7 Belysning 15
3.8 Fönster 16
3.9 Ventilation 16
3.9.1 TSI AccuBalance Modell 8380 17
3.9.2 TSI VelociCalc Plus 8386 18
3.9.3 SwemaFlow 125D 19
4 Genomförande 21
4.1 Byggnadsundersökning av Trödje skola 21
4.2 Konstruktion av zoner i IDA ICE 21
4.3 Väggar 23
4.4 Golv 25
4.5 Tak 27
4.6 Utplacering av dörrar och fönster 28
4.7 Klimatfil 28
4.8 Indata ventilation, belysning och radiatorer 28
4.9 Vistelse i zon 31

4.10 KÖLDBRYGGOR 31
4.11 VARMVATTENBEHOV 32
4.12 SCHEMAN 33
4.12.1 SCHEMA FÖR VISTELSE 33
4.12.2 SCHEMA FÖR VENTILATION 33
4.12.3 SCHEMA FÖR BELYSNING 34
4.12.4 SCHEMA FÖR NATTKYLA 35
4.12.5 SCHEMA FÖR APPARATUR 35
4.13 ENERGIBESPARINGAR 37
4.13.1 BYTE AV ENERGIBÄRARE 37
4.13.2 TILLÄGGSISOLERA 37
4.13.3 BYTE AV FÖNSTER 37
4.13.4 BYTE AV LAMPOR 38
4.13.5 ENERGIBESPARINGSPOTENTIAL VID TOTALRENOVERING 38
5 RESULTAT 39
5.1 ENERGIANVÄNDNINGEN I BYGGNADEN 39
5.2 ENERGIBESPARINGSÅTGÄRDER 40
5.2.1 BYTE AV ENERGIBÄRARE FÖR UPPVÄRMNING AV PAVILJONG 04 40
5.2.2 TILLÄGGSISOLERING AV YTTERVÄGGAR 41
5.2.3 BYTE AV FÖNSTER 41
5.2.4 BYTE AV BELYSNING 42
5.2.5 ENERGIBESPARINGSPOTENTIAL 43
6 DISKUSSION 45
7 SLUTSATS 47
8 FRAMTIDA STUDIER 49
9 REFERENSER 51
BILAGA 1 RITNINGAR 55
BILAGA 2 INDATA 61

1 Inledning

På begäran av Gavlefastigheter ska en energikartläggning på en låg- och mellanstadieskola belägen i Trödje utanför Gävle genomföras. Fastigheten ägs och förvaltas av det kommunala fastighetsbolaget Gavlefastigheter. Energikartläggningen på Trödje skola kommer inkludera en inventeringsanalys, olika energimätningar, en energikartläggning, energisimuleringar, analys av resultat och energibesparingsförslag.

1.1 Bakgrund

Nästan 40 % av den totala använda energin i Sverige kommer från bostads- och servicesektorn. 2015 var energianvändningen i sektorn 143 TWh och av detta så använder hushåll och lokalbyggnader ca 90 %. Uppvärmning av lokaler stod för 20,8 TWh vilket är 14,5% av den totala energianvändningen i sektorn vilket bidrar till att det finns en stor besparingspotential [1][2].

Europeiska unionen som helhet är en av de största energianvändarna och har en av världens största utsläpp av växthusgaser [3]. Energianvändningen nationellt och i EU ökar ständigt, det är därför viktigt att energieffektivisera. För att förhindra den globala uppvärmningen finns ett övergripande EU-mål om att medeltemperaturen på jorden inte ska öka med mer än två grader sen förindustriellt. I klimatavtal från 2016 har beslut fattats om att sätta en ny gräns till 1,5 grader [4] [5].

Klimatmål har formats till år 2020 för att minska Europas växthusgasutsläpp med 20 % jämfört med 1990 nivå samt att andel förnybar energi minst ska vara 20 % och energieffektiviteten ska öka med 20 %.
I Sverige ska minskningen motsvara 17 % tillskillnad från 2005 då nationen redan uppnått målet 20 % av förnybar energi och minskning av CO2-utsläpp. Sverige har även satt upp mål att andelen förnybar energi ska öka till 49 % vilket framgår i tabell 1 [6] [7]. Utsläpp av växthusgaser mellan 1990-2007 i EU förändrades inte mycket, vilket betyder att all minskning sker mellan åren 2008-2020 [3].

Tabell 1. EU respektive Sveriges mål för år 2020 [8]

	Minskning av CO2 utsläpp	**Förnybar energi**	**Energieffektivitet - minskning av energianvändning i milj. ton**
EU-mål	– 20 % jämfört 1990	20 %	20 % motsvarande 368 milj. ton
Sverige-mål	– 17 % jämfört 2005,	49 %	12.8

2014 fastställde EU-kommissionen nya klimatmål för EU fram till 2030. I målen ska CO2 utsläpp minska med 40 % jämfört med 1990 och andelen förnybar energi ska vara minst 27 % samt att energieffektiviteten ska öka med minst 27 % [4].
Det finns även långsiktiga mål för växthusgasutsläpp presenterade 2011, där målet syftar på att minska utsläppen av växthusgaser i EU med 80 % till 2050 jämfört med 1990. Målen är satta genom politiska beslut i europeiska unionen [3].

Det finns en stor energibesparingspotential i offentligt äga lokalbyggnader i Sverige, ca 20 % av energianvändning från 2008 till 2020 är möjlig att bespara [9].
Enligt EU 20-20-20-strategi finns det en energibesparingspotential på 30 % för kommersiella byggnader [10].

1.2 Problembeskrivning

Energianvändningen per kvadratmeter i Trödje skola är högre än genomsnittet för Gavlefastigheters skolor. På uppdrag av Gavlefastigheter ska vi undersöka varför och hur energianvändningen kan effektiviseras. Skolan består av en huvudbyggnad och två påbyggnationer som vi valt att namnge till paviljongen. Den första påbyggnationen är kopplad till huvudbyggnadens fjärrvärmenät och den andra är uppvärmd med direktverkande el. För att få en klar översiktsbild av energibalansen i byggnaden användes simuleringsverktyget IDA-ICE.

1.3 Syfte & Mål

Mål och syfte med arbetet är att utföra en energikartläggning på skolan för att komma fram till varför skolan har högre energianvändning per kvadratmeter än Gavlefastigheters genomsnitt för skolor. Utifrån energikartläggningen ska energieffektiviseringsåtgärder tas fram för att förbättra energiprestandan i skolan.

1.4 Frågeställningar

De frågeställningar arbetet förväntas besvara är följande:

- Varför använder skolan mer energi än genomsnittet?
- Vad finns det för energibesparingspotential?
- Vilka energieffektiviseringsåtgärder rekommenderas?
- Vad är det för skillnad på huvudbyggnaden och paviljongens energianvändning?
- Är det möjligt att minska skolans energianvändning med 25 %?

1.5 Avgränsningar

Avgränsningar som gjordes i arbetet är på grund av resurs- och tidsbrist.

Mätningar med värmekamera på köldbryggor uteblev på grund av att mätinstrument inte fanns tillhanda. Varmvattenbehov antogs då värden inte fanns att tillgå samt att inga mätningar utfördes, det varmvattenbehovet som användes togs från Gavlefastigheters projekteringskrav för energi. Golvvärme i duschutrymme i huvudbyggnaden inkluderades inte. Ingen mätning på infiltration utfördes, den ställdes in enligt IDA ICE standard. Klimatfil för Trödje fanns inte att tillgå i IDA ICE databas därav valdes närmsta stad. På två delar av huvudbyggnaden fanns kallvind som var isolerade i vindsbjälklag i IDA ICE bortsågs lutningen på taket i dessa delar. Temperaturen antogs inte understiga 21 °C.

1.6 Omfattning

Arbetet kommer innehålla en inventeringsanalys, olika energimätningar, energikartläggning, analys av resultat, energibesparingsförslag, rapportskrivande och en presentation.

1.7 Målgrupp

Huvudmålgrupp är Gavlefastigheter men även andra fastighetsägare som har liknande byggnader och vill veta vilken energibesparingspotential det finns att tillgå.

2 Teori

2.1 Energibalans i byggnaden

Energibalansen i en byggnad motsvarar hur mycket värmeenergi som behöver tillföras för att motverka förluster i byggnaden [11].

Nedan beskrivs teoretiska formler för beräkning av energibalans i en byggnad.

$$Q_{energi} = Q_{värme} + W_{el} \quad (1)$$

Q_{energi} = Byggnadens energibehov
$Q_{värme}$ = Byggnadens Specifika värmebehov
W_{el} = Byggnadens elbehov

$$W_{el} = W_h + W_f \quad (2)$$

W_h = Hushållsel
W_f = Fastighetsel

$$Q_{värme} = Q_t + Q_v + Q_{ov} - Q_s - Q_i \quad (3)$$

Q_t = Transmissionsförluster
Q_v = Ventilationsförluster
Q_{ov} = Oavsiktlig ventilation eller luftläckage
Q_s = Solinstrålning
Q_i = Internt genererad värme

2.1.1 Värme förlust via transmission

Transmissionsförluster är den värme som går förlorad genom byggnadens klimatskal som består av väggar, tak, golv, fönster. I transmissionsförlusterna ingår även värme som förloras via köldbryggor som uppstår vid förbindelse av byggnadsdelar eller vid t.ex. rörgenomföringar [11].

För att beräkna transmissionsförluster behöver U-värden för byggnadsdelar beräknas, formel för U-värde framgår i formel 4. Efter att detta är genomfört används formel 5 för att beräkna transmissionsförlusterna.

$$U_{tot} = \frac{1}{R_{tot}} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (4)$$

U_{tot} = Totala värmegenomgångskoefficienten (W/m^{2}K)
$R_{tot} = R_{si} + R + R_{se}$ (m^{2}K/W)
$R = \frac{d}{\lambda}$ (m^{2}K/W)

R = Värmekonduktivitet (m^2K/W)

d = Skikttjocklek (m)

λ = Värmeledningsförmåga (W/m^2K)

R_{si} = 0,13 (m^2K/W)

R_{se} = 0,04 (m^2K/W)

$$Q_t = \sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum X_k \text{ (W/K)} \quad (5)$$

U_i = värmegenomgångstal för en byggnadsdel (W/m^2K)

A_i = Invändig area för en byggnadsdel (m^2)

Ψ_j = värmegenomgångstal för en linjär köldbrygga (W/mK)

l_j = Linjär köldbryggas längd (m)

X_k = Värmegenomgångstal för en punktformig köldbrygga (W/K)

2.1.2 Värmebehov för ventilation

För att temperaturen i ett ventilerat rum inte ska sjunka så behöver luften värmas upp innan den tas in i ett rum. I ventilationsaggregatet finns en värmeåtervinnare som först värmer upp uteluften mot den redan varma inneluften sen finns ett luftvärmebatteri som värmer upp luften ytterligare vid behov. För att beräkna det totala värmebehovet för att värma upp ventilationsluften används formel 6. För att sedan beräkna effektbehovet i luftvärmebatteriet används formel 7, där man med hjälp av formel 8 kan beräkna $T_{å}$ som är temperaturen på luften efter att den har värmeväxlats [11].

$$Q_{vent} = \rho \cdot c_p \cdot q_v \cdot (1 - \eta) \text{ (W/K)} \quad (6)$$

ρ = Luftens densitet ($1,2\ kg/m^3$)

c_p = Luftens specifika värmekapacitet (1000 J/kgK)

q_v = Uteluftsflöde (m^3/s)

η = Värmeväxlarens verkningsgrad

$$P_{vb} = Q_{vent} \cdot (T_{till} - T_{å}) \quad (7)$$

Q_{vent} = Specifik effekt för värmning av luft

T_{till} = Temperatur på tilluften (°C)

$T_{å}$ = Temperatur efter värmeväxlare (°C)

$$\eta = \frac{T_{å} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} \cdot \frac{q_{till}}{q_{från}} \quad (8)$$

2.1.3 Oavsiktlig ventilation eller luftläckage

Oavsiktlig ventilation är luft som läcker in och ut genom otätheter i byggnadens klimatskal. Den luften som läcker in genom klimatskalet har samma temperatur som uteluft och byggnadens värmesystem måste ha kapacitet att värma upp den. Luft som läcker in kan ge upphov till drag och kalla ytor vid dörrar och fönster [11]. Luftläckage medför att risken för fuktskador ökar i klimatskalet, läckaget förekommer oftast högre upp i byggnader där övertryck lättare uppkommer.

$$Q_{ov} = \rho \cdot c_p \cdot q_{ov} \text{ (W/K)} \quad (9)$$

ρ = Luftens densitet (1,2 kg/m^3)
c_p = Luftens specifika värmekapacitet (1000 J/kgK)
q_{ov} = Oavsiktligt ventilationsflöde (m^3/s)

Det oavsiktliga ventilationsflödet (q_{ov}) är svårt att mäta, det finns vissa metoder för detta bl.a. ”blower door-metoden”. Blower door metoden är en metod där man mäter infiltration in i byggnaden genom att skapa ett undertryck.

2.1.4 Gratisvärme

Gratisvärme är tillskottet av energi som fås från solinstrålning och internt genererad värme vilket bidrar till att man inte behöver använda värmesystemet för att öka temperaturen hela vägen till önskad nivå. Det bidrar även till att man inte behöver använda så mycket värme på sommaren även om utomhustemperaturen är lägre än inne [11].

2.1.4.1 Solinstrålning

Solinstrålning i en byggnad kan bidra till ökad uppvärmning och därmed minskat värmebehov men det kan även bidra till att kylbehovet i en byggnad ökar. Byggnadens orientering har stor betydelse för hur mycket energi solinstrålningen bidrar med. Om en byggnad har stora fönster mot söder ger solinstrålningen ett stort värmetillskott men om samma byggnad istället haft stora fönster mot norr hade värmetillskottet blivit mindre.

2.1.4.2 Internt genererad värme

Internvärme är det värmetillskott som genereras av människor, elapparater, belysning mm som finns i byggnaden. Hur stort tillskottet av internt genererad värme blir beror på hur många personer som vistas i byggnaden och hur mycket apparatur som finns.

2.1.5 Energibehov under ett år

För att beräkna värmebehovet under ett år kan gradtimmar användas, vilket lämpar sig på specifika lokalisering.

$$E = G \cdot Q_{t+v}$$

G = Gradtimmar

$$Q_{t+v} = Q_t + Q_v$$

2.2 Nattkyla

Nattkyla innebär att byggnaden kyls med kallare uteluft på nätter då inomhustemperaturen överstiger en fixtemperatur för att spara energi vid kylning. Processen är inte i behov av att vara på hela natten endast när inomhustemperaturen överstiger inställd nivå, detta förekommer bara sommarhalvåret [11]. Ventilationsaggregatet i skolan är utrustat med nattkyla som startar 01:00 och pågår fram till 05:00 under maj till september då frånlufttemperaturen överstiger 23 grader, tilluftfläkten förser då byggnaden med uteluft för att sänka temperaturen till den uppnår 19 grader. Nattkyla kan ha en stor potential för energibesparing, dock påverkas nattkylan av många parametrar vilket medför att den kan vara oförutsägbar detta kan vara ledande till att nattkyla inte används lika frekvent i nya byggnationer [12].

2.3 Tappvarmvatten

Varmvattenanvändningen har stor betydelse för energianvändningen i en byggnad. Då inga mätningar på användningen genomfördes togs schablonvärden för tappvarmvattenanvändningen från Gavlefastigheters projekteringskrav på energi. Schablonvärdena för varmvattenanvändningen är 10 kWh/m^{2}år för skolor och 13 kWh/m^{2}år för förskolor. Varmvattencirkulationsförluster för skolor och förskolor är 4 kWh/m^{2}år [13].

2.4 Energibeteende

Energibeteende är hur människor förhåller sig till energismarta val i vardags- och arbetsliv. Att inte använda energi när det inte behövs, det kan vara allt ifrån att låta tappvarmvattnet rinna till att lämna belysning på när den inte behövs. För att bespara energi är det viktigt att tänka på hur nyttjandet sker. Med ett bra energibeteende är det möjligt att energibespara 10 till 30 % [14].

2.5 Konventionella energibesparingsåtgärder

2.5.1 Tilläggsisolering

Tilläggsisolering av byggnader är en vanlig energieffektivisering. Då äldre byggnader ofta har mindre isolering är en besparing möjlig via isolering på väggar golv, och tak. Det maximalt tillåtna genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för nybyggda lokalbyggnader i klimatzon II är 0,6 W/m^{2}K [15].

I en studie utförd i Gävleborg på 11 fastigheter byggda mellan 1880-1977 i varierande storlekar har man undersökt vilken effekt olika renoverings alternativ har. En av energieffektiviseringarna som undersökt är tilläggsisolering av väggar med 100 mm, denna åtgärd genomfördes på nio av byggnaderna och gav en genomsnittlig energiminskning på 14,5 % [16].

2.5.2 Byte av fönster

Fönster är en stor orsak till energiförluster i byggnader och ca en tredjedel av värmeförlusterna orsakas på grund av dåliga fönster. En allt vanligare energieffektiviseringsåtgärd kan därför vara att byta 2- och 3-glasfönster till energifönster. Energimärkning av fönster är ett EU initiativ som ännu inte blivit föreskrivet. Fönster klassas i en skala A-G där ett A-klassat fönster har u-värde på 0,7 W/m^{2}K och max luftläckage på 1 m^3/h, m^2. G-klassat fönster har u-värde på 1,3 W/m^{2}K och max luftläckage på 3 m^3/h, m^2 [17].

I samma studie som ovan undersökte man även effekten av att byta fönster. Vid byte från fönster med u-värde på 2,4 W/m^{2}K till fönster med 1,3 W/m^{2}K finns en genomsnittlig besparingspotential på 10 % och vid byte till fönster med u-värde på 0,85 W/m^{2}K är potentialen 11,9 % [16].

2.5.3 Byte av lampor

Att byta ut befintlig belysning mot LED är en effektiv åtgärd för att spara energi. Att byta ut traditionella glödlampor mot kompaktlysrör eller LED-lampor kan ge en energibesparing på 70 respektive 85 % och ge en livslängd som är 10 respektive 50 gånger längre [18].

Byte från lysrör och kompaktlysrör till LED kan ge en ytterligare effektivisering. Att byta traditionella lysrör mot LED lysrör kan ge en energiminskning på upp till 70 % [19].

2.5.4 Byte av energibärare

I byggnader från 70- och 80-talet är det vanligt att värmesystemet drivs med direktverkande el. Att konvertera från el till fjärrvärme är ett dyrt ingrepp då man måste byta ut hela värmesystemet mot ett vattenburet och det är därför svårt att få det lönsamt. Men det börjar bli vanligare då det under 2006-2010 fanns ett konverteringsstöd för dem som bytte ut direktverkande el mot ett vattenburet värmesystem med fjärrvärme, biobränsle eller värmepump. En annan faktor är att den tekniska livslängden för många direktverkande el system börjar närma sig och de därför är i behov av att bytas ut [20][21].

Vid utbyte av ett värmesystem med direktverkande el till ett vattenburet med värmepump kan energikostnaden bli upp till tre gånger lägre [22].

3 Metod

Metoder som använts i arbetet är empirisk analys, modulering, energikartläggning och datainsamling.

3.1 Energikartläggning

En energikartläggning ger en övergripande bild av hur mycket energi som används i olika system i en byggnad samt hur energieffektiva olika delar av byggnaden är.

Generellt är en energikartläggning ett uppdrag för att studera energianvändningen i en byggnad eller elektriskt utrustning. Från energikartläggningen kan den totala energi som används bestämmas samt energianvändningen för specifik utrustning [23].

Energikartläggning delas vanligtvis in i följande steg [24]:

- Geometri på byggnaden
- Uppvärmd area (A_{temp})
- Byggnadens tekniska system (ventilation-, uppvärmning- och VS-system)
- Energianvändning
- Energianvändning vid uppvärmning
- Luftkonditionering
- Ockupanter

En energikartläggning i sig förbättrar inte energieffektiviteten men är ett viktigt steg mot investering och genomförande av energieffektiviseringsåtgärder [25].

I en forskningsstudie genomförd i Slovenien har 24 skolor energikartlagts. I studien visas att energibesparingspotentialen för skolor är 31 % men om man vill ha en kortare återbetalningstid som i detta fall 3 år är potentialen endast 7 % [26].

Sedan 1 juni 2014 finns en lag på att stora företag är skyldiga till att genomföra energikartläggning minst vart fjärde år. Lagen syftar till att uppfylla energieffektiviseringsdirektiven för medlemsstaterna i EU. Målet med kartläggningen är att se hur mycket energi som krävs för att driva verksamheten samt realistiska energibesparingsförslag [27].

3.2 IDA ICE

IDA Indoor Climate and Energy är ett dynamiskt multi-zon simuleringsverktyg där man kan bygga upp en verklighetstrogen modell av en byggnad för att få fram lägsta möjliga energianvändning samt ett så bra inomhusklimat som möjligt [28].

IDA ICE är ett verktyg utvecklat för att modulera byggnader för simulering. Programmet täcker en rad avancerade företeelser såsom integrerade luftflöden och termiska modeller. Programmet tar hänsyn till alla aspekter som påverkar en byggnad [29].

Simuleringverktyget inkluderar tre olika användningsmodeller Wizard, Standard och Advance. Där Wizard är avsedd för mindre erfarna användare, Standard är avsedd för uppbyggnation av zoner och simulering och Advance där användaren får tillgång till matematiska modellen [30].

3.3 Datainsamling

För att kunna utföra simuleringar på byggnaden behövdes viss data samlas in. Ventilationsmätningar genomfördes på delar av byggnaden där värden inte fanns. Ritningar över byggnaden, ventilation, konstruktion, el och VS med specifikationer samlades in. Energianvändning för skolan samt el fakturor erhölls från Gavlefastigheter. Tekniska beskrivningar togs från informationspärmar för skolan. Tidigare genomförda mätningar tillhandahölls för en del av byggnaden.

3.4 Energianvändning i skolor

Energianvändningen per kvadratmeter i Trödje skola är högre än genomsnittet för lokalbyggnader i Sverige och även högre än genomsnittet för alla Gavlefastigheters skolor vilket framgår i tabell 2. El- och fjärrvärme användningen på skolan togs som ett medelvärde för de tre senaste åren och gav att elanvändningen var 127 398 kWh/år och fjärrvärmeanvändningen 176 890 kWh/år. Skolans bruksarea är 1531 m^2. Energianvändningen per kvadratmeter blir således 198,7 kWh/m^2år av vilket elanvändningen står för 83,2 kWh/m^2år och fjärrvärmeanvändningen 115,5 kWh/m^2år. För att energianvändningen i Trödje skola ska komma ner till medelvärdet för Gavlefastigheters skolor behöver den minska med 42 kWh/m^2år vilket motsvarar en total minskning på 64 302 kWh vilket är ca 21 % av nuvarande energianvändningen.

Tabell 2. Energianvändning per kvadratmeter

	Trödje skola	**GFAB* medel**	**GFAB* skolor medel**	**Sverige medel 2015 lokaler**
El (kWh/m²,år)	83,2	60,3	46,1	69
Värme (kWh/m²,år)	115,5	121	110,6	101
Totalt (kWh/m²,år)	198,7	181,3	156,7	170

*Gavlefastigheter

Värmeanvändningen för skolor är oftast högre än el-användningen, men i nyare byggnader är ofta värmeanvändningen mindre vilket bidrar till att elanvändningen blir högre. Nyare byggnader har för det mesta lägre energiklass men olika utformning ger upphov till en större energivariation [31]. Det finns en standard för Europeiska skolor där skolorna har en elanvändning varierande mellan 10 till 30 kWh/m²år och att värmeanvändningen ligger på ca 100 kWh/m²år [32].

I nyare skolor med bättre regleringssystem och konstruktion blir variationen för el- och värmeanvändningen mindre. Reglersystem som styr ventilation och uppvärmning har en mindre felmarginal än äldre skolor [33].

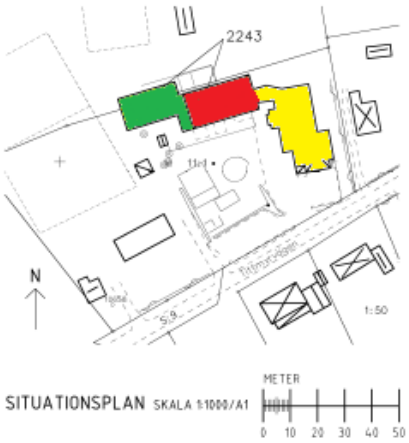
3.5 Förordning om energideklaration för byggnader

Energideklaration för byggnader är till för att skapa en god inomhusmiljö samt effektivisera energianvändningen. Deklarationen är till för alla byggnader förutom fritidshus, industrier, byggnader mindre än 50 m² mm. Uppgifter som innefattas i en energideklaration är b.la. energianvändning, ventilationssystemskontroll och energieffektiviseringsåtgärder vid behov. Byggnader med större kvadratmeteryta än 250 m² som frekvent besöks av gemene man måste energi deklareras. När en energideklaration utförs får byggnaden en energiklass mellan A som är bäst och G som är sämst där C är en byggnad som motsvarar nybyggnationskrav. Lagen om energideklaration § 2006:985 trädde i kraft 2006 [34][35].

3.6 Objektbeskrivning

Trödje skola är en kommunal grund- och förskola i Gävle kommun Gävleborgs län där 102 elever studerar. I Sverige finns det fyra klimatzoner för att kunna anpassa kraven på byggnader beroende på vart de ligger. Gävleborgs län ligger i klimatzon II som sträcker sig från Dalarnas- till Västernorrlands län [36].
Skolans golvarea är totalt 1531 m^2 och den är ursprungligen byggd 1948 och är sedan tillbyggd vid tre tillfällen. 1996 är huvudbyggnaden utbyggd och renoverad, 1998 är skolan tillbyggd med en paviljong och 2004 är ytterligare en paviljong tillbyggd. Påbyggnationen från 04 består av tre ihop byggda moduler med separata eluppvärmda ventilationssystem. Skola är placerad enligt situationsplan nedan i figur 2, påbyggnation på huvudbyggnad består av två delar en byggd 98 och en 04. Påbyggnaden från 98 har uppvärmning via fjärrvärme och 04 är eluppvärmt. Huvudbyggnaden som består av 3 våningar är försedd med källare, kök och gymnastiksal. För att underlätta simuleringen i IDA ICE skapades två modeller där huvudbyggnaden och paviljongen simuleras enskilt. I figur 2 framgår hur situationsplanen för Trödje skola ser ut samt att påbyggnation från 98 markerats röd och påbyggnationen från 04 grön. Huvudbyggnaden markerades gul. Skolan har verksamhetstid 50 timmar per vecka och förskolan har 60 timmar per vecka.

Figur 1 Trödje skola



Figur 2 Situationsplan för Trödje skola

3.7 Belysning

Inventering av belysning gjordes via ritningar och kontrollinventering. Skolan använder totalt 20st olika lamptyper med skilda effekter. I tabell 2 framgår effekter för respektive lamptyp i Trödje skola.

Tabell 3. Lamptyper och effekter

Lamptyp	Effekt (W)
TC1	26
TC2	18
TC3	16
TC3 LED	10
TC4	21
TC5	13
TC6	Används inte
TC7	28
TC8	56
TC9	18
TC10	11
T1	72
T2	36
T3	72
T4	72
T5	36
T6	36
T7	18
T8	18
T9	36
Spotlight	4
Glödlampa	40

3.8 Fönster

Fönster i byggnaden bestod av antingen 2- eller 3-glas med U-värde på 1,6 till 2,0 W/m^{2}K. U-värden för huvudbyggnadens fönster inkluderades i konstruktionsritning, paviljongens fönster lades in som 3-glasfönster enligt standard från IDA ICE. Konstruktionsritningar för fönster på ursprungliga byggnaden uteblev och ett antaget värde användes som namngavs till F8. I tabell 4 visas u-värden för fönstertyper i byggnaden.

Tabell 4. Fönstertyper och U-värden

	U-värde (W/m^{2}K)
F1	1.9
F2	1.6
F3	1.6
F4	1.9
F5	1.6
F6	1.9
F7	1.9
F8	2
F9	1.6
F10	1.9
F11	1.9
F12	1.6
F13	1.6

3.9 Ventilation

Ventilationssystems uppgift är att bortföra förorenad luft och förse byggnaden med friskluft. För att få ett behagligt inomhusklimat bör ventilationssystemet vara rätt utformat. Tilluftsflödet ska motsvara 0,35 l/s,m^2 samt 7 l/s,person. Bra ventilerade byggnader bidrar till ett bättre välmående och ökad kognitiv förmåga [15].

Huvudbyggnaden har ett FTX-system med värmebatteri uppvärmt av fjärrvärme och plattvärmeväxlare med en verkningsgrad på 60 %. Ventilationsflöden erhölls från ventilationsritningar där flöden för varje don var dimensionerade. Paviljongbyggnaden från 1998 har även ett liknande FTX-aggregat. Ventilationsritningar för den delen saknades och ventilationsmätningar genomfördes. Ventilationsmätningarna bestod av mätningar på både till- och frånluft. Paviljongbyggnaden från 2004 bestod av 3 FTX-aggregat av modellen IV FLEXOPAC med elvärmebatteri med effekten 6 kW och värmerörsväxlare med en verkningsgrad på 60 %. I IDA ICE har dessa 3 kombinerats till ett aggregat. Ventilationsflöden för paviljong 2004 fanns i informationspärm för ventilationssystemet då tidigare injusteringsmätningar utförts. Trödje skola är försätt med ett system för brandgasventilation. Systemets tillämpning är att bortföra brandgaser och underlätta räddningsinsatser.

Mätningarna i paviljongen från 1998 genomfördes med mätinstrumenten TSI AccuBalance Modell 8380, TSI VelociCalc Plus 8386 och SwemaFlow 125D.

Där mätningar genomfördes med TSI VelociCalc Plus 8386 beräknades flödet från m/s och pascal till l/s.

Från m/s till l/s: $A \cdot v \cdot \frac{3600}{3.6} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot v \cdot 1000 = \frac{l}{s}$

Från pascal via k-värde till l/s: $q_v = k \cdot \sqrt{\Delta P_{spjäll}}$

3.9.1 TSI AccuBalance Modell 8380

Är ett mätverktyg som tillsammans med precisionstryckmätaren DP-Calc 8715 kan användas för direktflödesmätningar på don, uteluftsintag m.m. Användes för att mäta tilluft- och frånluftsflöden i don. Mätområdet för flödesmätningar ligger mellan 12 – 1180 l/s och noggrannheten är ±3 % av avläst värde och ±3 l/s vid flöde över 24 l/s [37][38].

TSI AccuBalance Modell 8380 användes i första hand på till- och frånluftdon då den mätte flödet i l/s. Dock på grund av dess storlek och ventilationssystemets utformning fick TSI VelociCalc Plus 8386 och SwemaFlow 125D användas. I figur 3 framgår TSI AccuBalance Modell 8380 apparans.

Figur 3 TSI AccuBalance Modell 8380

3.9.2 TSI VelociCalc Plus 8386

Är ett mätverktyg som kan användas för att mäta hastighet, temperatur, tryckskillnad och luftfuktighet.

Användes för att mäta hastighet i kanaler samt tryckskillnad över spjäll för att möjliggöra beräkningar av flöden. Vid mätningar av hastighet i kanaler användes en värmesensor som sattes in i kanalen, vid olika kanalstorlekar användes olika många mätpunkter för att få ett så korrekt värde som möjligt. Mätområdet för värmesensorn är 0 – 50 m/s och noggrannheten är ±3 % av avläst värde eller ±0,015 m/s. Vid mätning av tryckskillnader användes två slangar som kopplades in i mätuttag på varsin sida av ett spjäll. Mätområdet för tryckskillnadsmätningar är -1245 – 3735 Pa och noggrannheten är ±1 % av avläst värde eller ±1 Pa [39].

Via VelociCalc Plus TSI mättes hastigheten i kanalen samt tryckskillnaden över spjäll i figur 2 framgår hur TSI VelociCalc Plus ser ut. Mätpunkter i kanaler bestämdes efter kanalstorlek, 1 mätpunkt för kanaler runt 100 mm, 5 mätpunkter för kanaler upptill 250 mm och 8 mätpunkter för 315 mm kanaler. Mätningarna beräknades till l/s från m/s och från pascal med angivet k-värde på spjäll.

Figur 4 VelociCalc Plus TSI

3.9.3 SwemaFlow 125D

Är ett mätverktyg som kan användas för att mäta luftflöde. Användes för att mäta tilluft- och frånluftsflöden i don där TSI AccuBalance 8386 var för stor. Mätområdet för flödesmätningar ligger mellan 2 – 125 l/s och noggrannheten är ±3,5 % men aldrig bättre än 0,4 l/s [40].
SwemaFlow 125D användes på mindre till- och frånluftdon då dess stos lämpades. I figur 4 visas SwemaFlow 125Ds.

Figur 5 SwemaFlow 125D

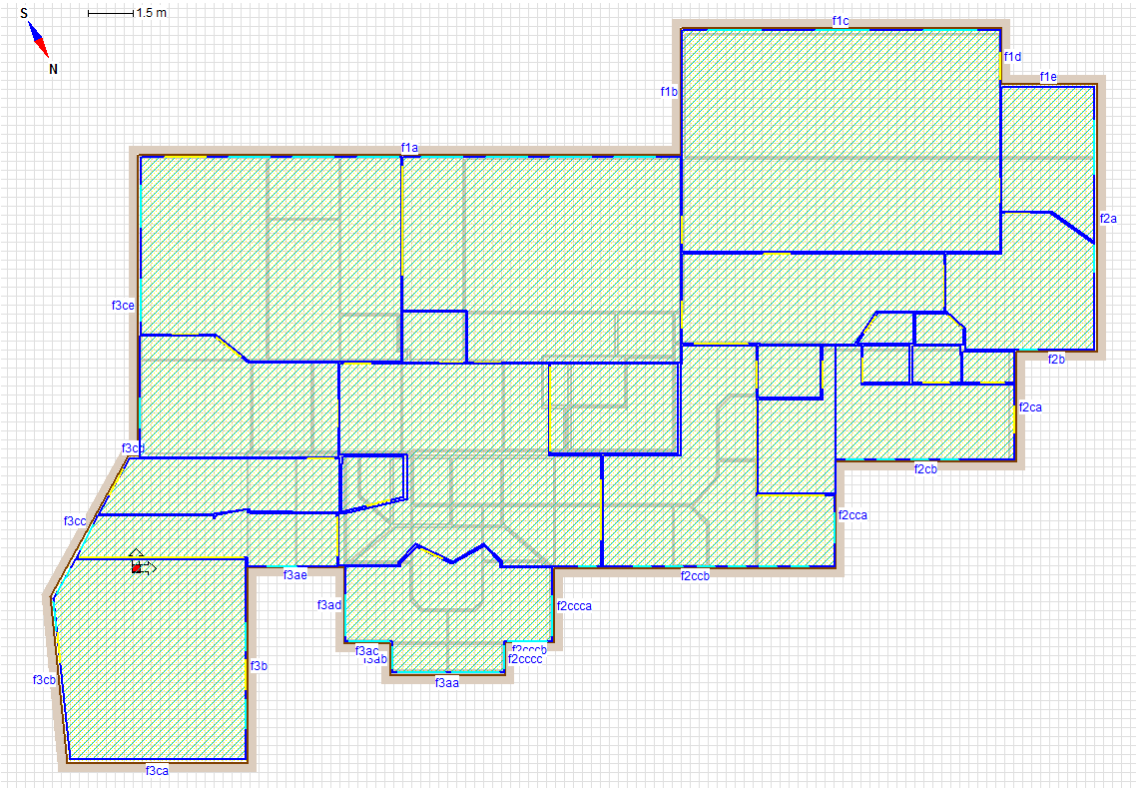
4 Genomförande

4.1 Byggnadsundersökning av Trödje skola

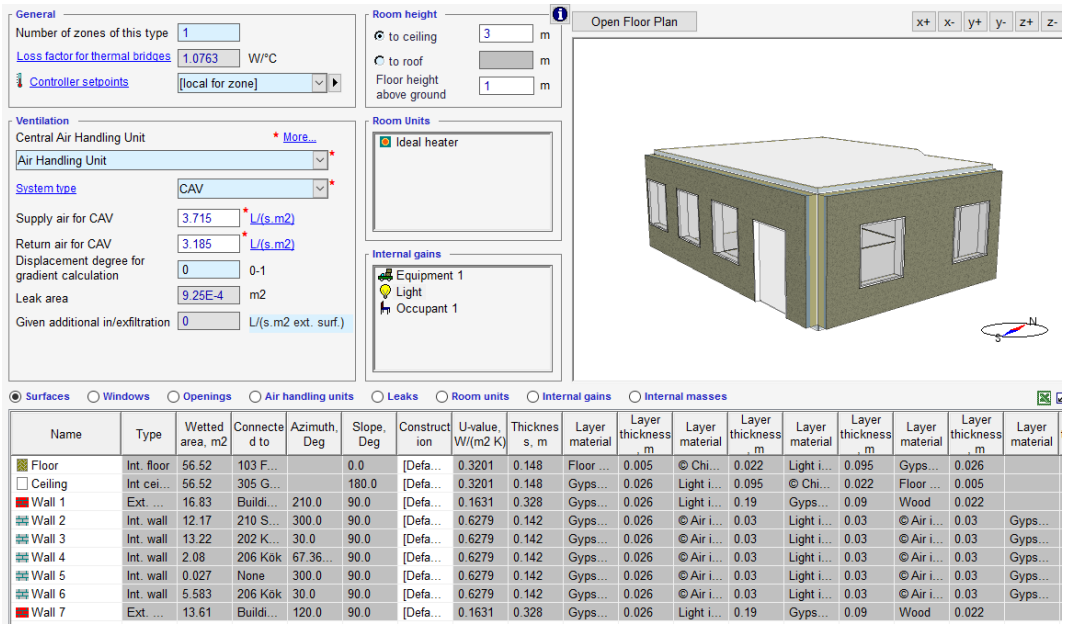
Lokalundersökning av Trödje skola genomfördes för att få en bild av hur skolan är uppbyggd. Inventering av belysning, ventilation, elektriskutrustning genomfördes. Totalt besöktes skolan 6 gånger varvid uppföljningsinventeringar samt mätningar på ventilationen gjordes.

4.2 Konstruktion av zoner i IDA ICE

Varje zon ritades ut i programmet efter befintlig ritning för att motsvara ett rum. Zonindelning av rummen bidrar till en klar översiktsbild och enkel datainmatning för varje rum. Ritningar importerades för varje våning så att zoner kunde ritas ut i rätt storlek. Ritningarna importerades som DWG-filer och ställdes in till rätt skala. För att skapa zoner användes verktyget ”New zone”, då zonerna ritats ut ställdes zonhöjd in vilket motsvarar den verkliga rumshöjden. Utplacering av zoner framgår i figur 6. Varje zon får en egen volym där dess specifika värden kan inkluderas vilket visas i figur 7. När alla zoner moduleras ut enligt ritning och höjd bildas en illustrerad byggnad vilket framgår i figur 8 och figur 9.



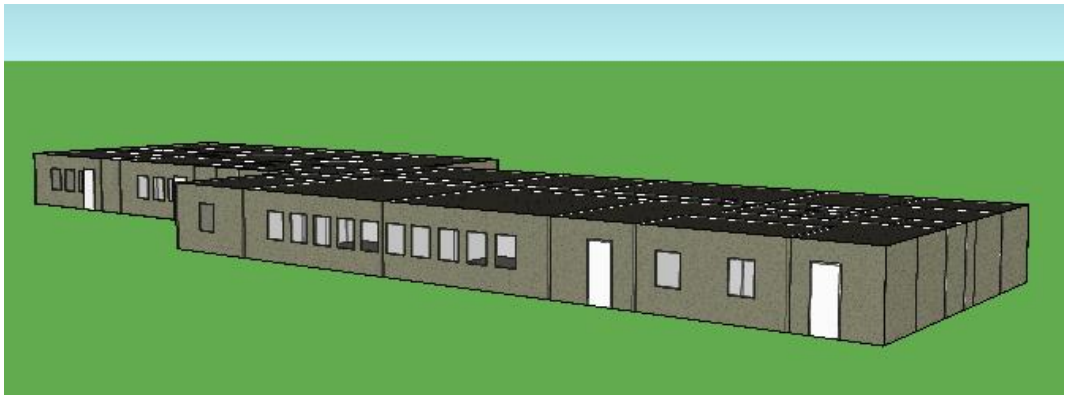
Figur 6 Zoner entrévåning huvudbyggnad.



Name	Type	Wetted area, m2	Connected to	Azimuth, Deg	Slope, Deg	Construction	U-value, W/(m2 K)	Thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material	Layer thickness, m	Layer material
Floor	Int. floor	56.52	103 F...		0.0	[Defa...	0.3201	0.148	Floor ...	0.005	© Chi...	0.022	Light i...	0.095	Gyps...	0.026	
Ceiling	Int cei...	56.52	305 G...		180.0	[Defa...	0.3201	0.148	Gyps...	0.026	Light i...	0.095	© Chi...	0.022	Floor ...	0.005	
Wall 1	Ext. ...	16.83	Buildi...	210.0	90.0	[Defa...	0.1631	0.328	Gyps...	0.026	Light i...	0.19	Gyps...	0.09	Wood	0.022	
Wall 2	Int. wall	12.17	210 S...	300.0	90.0	[Defa...	0.6279	0.142	Gyps...	0.026	© Air i...	0.03	Light i...	0.03	© Air i...	0.03	Gyps...
Wall 3	Int. wall	13.22	202 K...	30.0	90.0	[Defa...	0.6279	0.142	Gyps...	0.026	© Air i...	0.03	Light i...	0.03	© Air i...	0.03	Gyps...
Wall 4	Int. wall	2.08	206 Kök	67.36...	90.0	[Defa...	0.6279	0.142	Gyps...	0.026	© Air i...	0.03	Light i...	0.03	© Air i...	0.03	Gyps...
Wall 5	Int. wall	0.027	None	300.0	90.0	[Defa...	0.6279	0.142	Gyps...	0.026	© Air i...	0.03	Light i...	0.03	© Air i...	0.03	Gyps...
Wall 6	Int. wall	5.583	206 Kök	30.0	90.0	[Defa...	0.6279	0.142	Gyps...	0.026	© Air i...	0.03	Light i...	0.03	© Air i...	0.03	Gyps...
Wall 7	Ext. ...	13.61	Buildi...	120.0	90.0	[Defa...	0.1631	0.328	Gyps...	0.026	Light i...	0.19	Gyps...	0.09	Wood	0.022	

Figur 7 Specifikation för zon

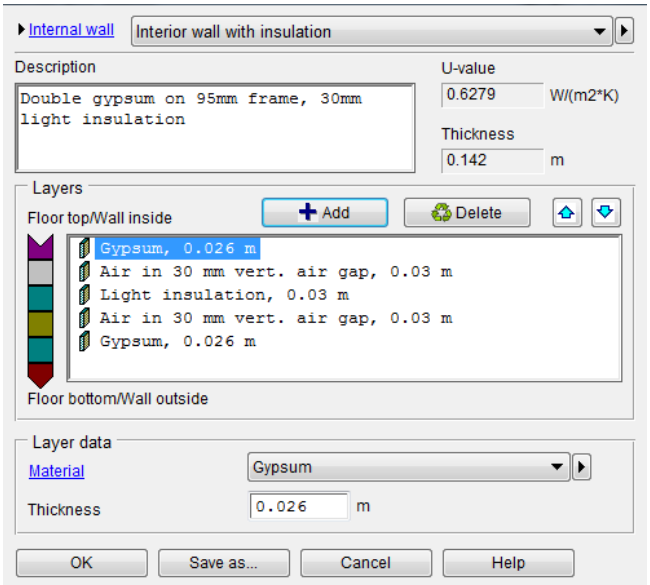
Figur 8 Översiktsbild huvudbyggnad i IDA ICE



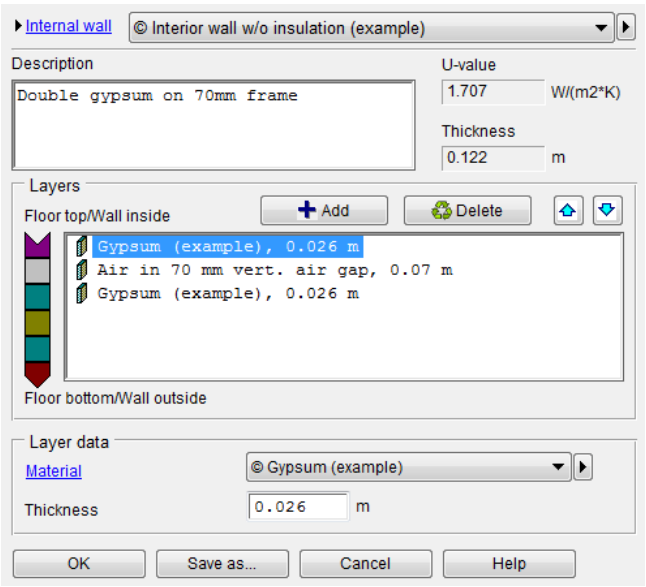
Figur 9 Översiktsbild paviljong i IDA ICE

4.3 Väggar

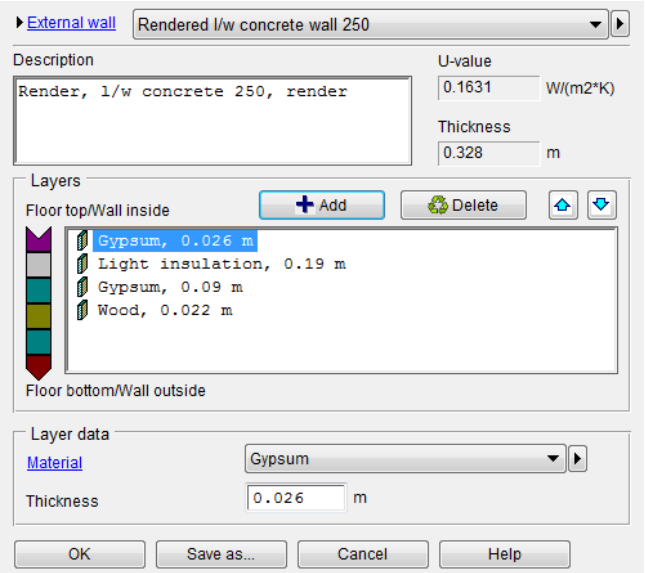
Konstruktion av väggar togs från konstruktionsritningar där inner-och ytterväggarna i byggnaden hade olika konstruktion. Innerväggarna i huvudbyggnaden är konstruerade enligt figur 3 och har ett u-värde på 0,6279 W/m²K och i paviljongen är u-värdet 1,707 W/m²K. Konstruktionen och u-värde för paviljongens innerväggar framgår i figur 4. Ytterväggarna i huvudbyggnaden är konstruerade enligt figur 5 och har ett u-värde på 0,1631 W/m²K och i paviljongen är u-värdet 0,2022 W/m²K. Konstruktionen och u-värde för paviljongens innerväggar framgår i figur 6. Huvudbyggnad och paviljong är tillsammans en byggnad och då de simulerades som separata byggnader sattes u-värdet där byggnaderna går ihop till väldigt lågt, detta för att efterlikna det verkliga fallet.



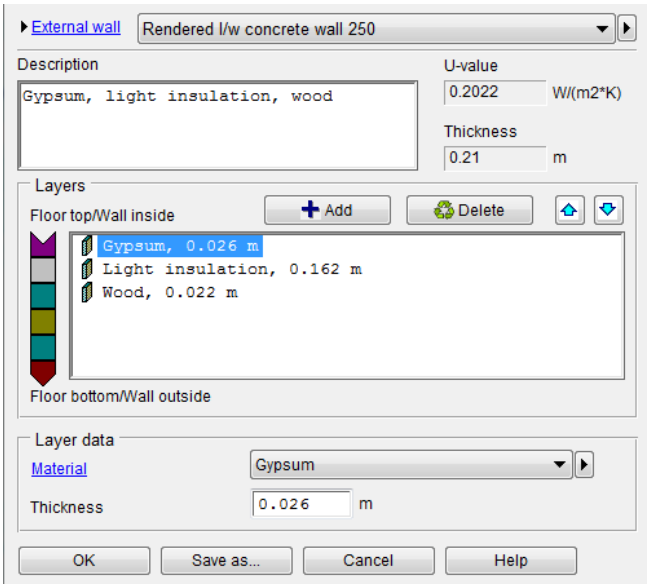
Figur 10 konstruktion innervägg huvudbyggnad



Figur 11 konstruktion innervägg paviljong



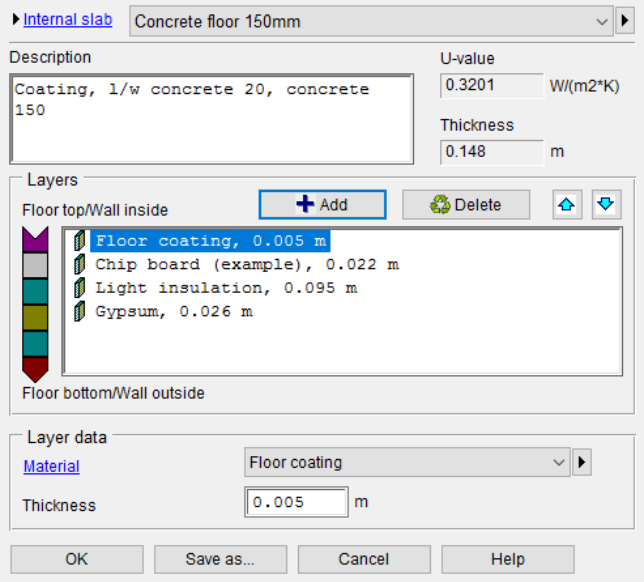
Figur 12 konstruktion yttervägg huvudbyggnad



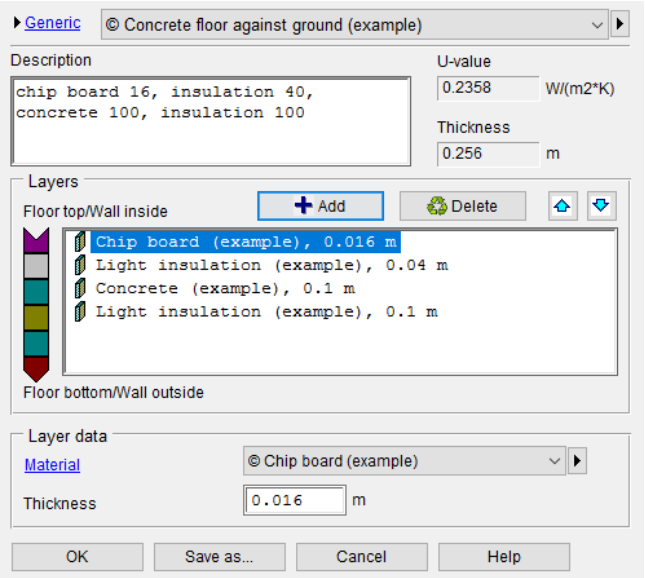
Figur 13 konstruktion yttervägg paviljong

4.4 Golv

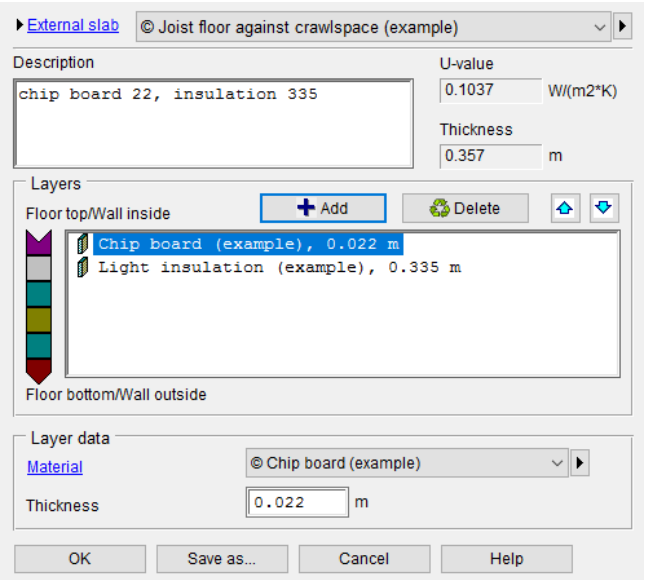
Interna golvkonstruktionen bestod av 5 mm innergolvsmatta, 22 mm spånskiva, 95 mm isolering och 26 mm gips vilket framgår i figur 14. Konstruktionsvärden togs från konstruktionsritningar för både intern- och externgolv. För externa golvkonstruktionen skiljde sig uppbyggnationen mellan paviljong och huvudbyggnad. Paviljongbyggnadens externa golv bestod av 22 mm spånskiva och 335 mm isolering enligt figur 16, detta då den byggnaden hade krypgrund. Huvudbyggnadens externa golv bestod av 16 mm spånskiva, 40 mm isolering, 100 mm betong och 100 mm ytterligare isolering vilket framgår i figur 15. De interna golvens u-värde för byggnaden blev 0,3201 W/m²K men de externa skiljde sig då konstruktionen på paviljong och huvudbyggnad var olika, där u-värdet för huvudbyggnadens externa golv blev 0,2358 W/m²K och för paviljong blev u-värdet 0,1037 W/m²K.



Figur 14 konstruktion interna golv huvudbyggnad och paviljong



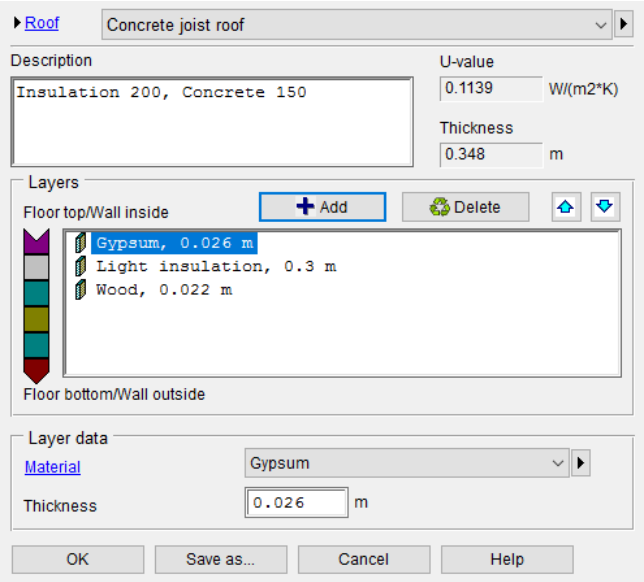
Figur 15 konstruktion externa golv huvudbyggnad



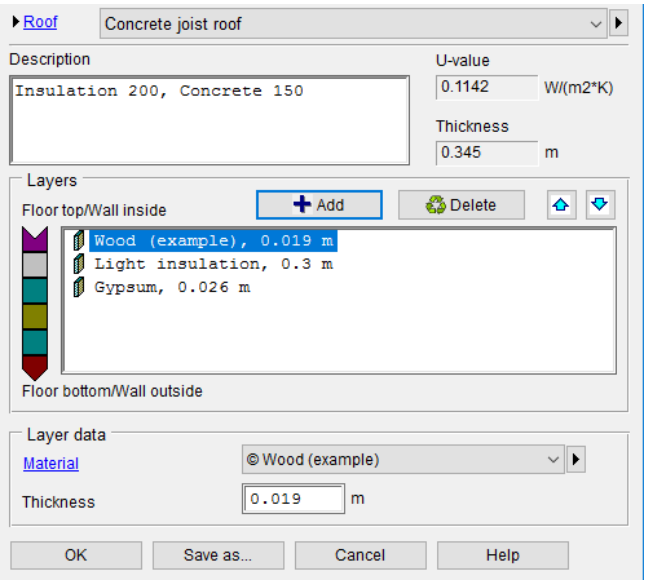
Figur 16 konstruktion externa golv paviljong

4.5 Tak

Taket på huvudbyggnad respektive paviljongbyggnad skiljde sig då utformningen varierade. I konstruktionsritningar framgick mått och tjocklek på takkonstruktionen, för huvudbyggnadens tak användes 26 mm gipsskiva, 300 mm isolering och 22 mm träskiva vilket visas i figur 17. Paviljongbyggnadens konstruktion enligt figur 18 med 19 mm träskiva, 300 mm isolering och 26 mm gipsskiva. U-värde för taket på huvudbyggnaden är 0,1139 W/m^{2}K och för paviljongen 0,1142 W/m^{2}K.



Figur 17 konstruktion tak huvudbyggnad



Figur 18 konstruktion tak paviljong

4.6 Utplacering av dörrar och fönster

Dörrar och fönster lades till enligt konstruktionsritning. Mått på dörrar och fönster erhölls från konstruktionsritning och mätningar. I figur 6 visas utplacering av fönster och dörrar, där dörrar är gulmarkerade och fönster är turkos.

4.7 Klimatfil

Klimatfil för Trödje fanns inte att tillgå, närmsta tillgängliga klimatfil i IDA ICE valdes. Söderhamn är närmsta ort med åtkomlig klimatfil. I klimatfilen framgår temperatur, vindriktning, luftfuktighet och molnförekomst under ett år se figur 19.

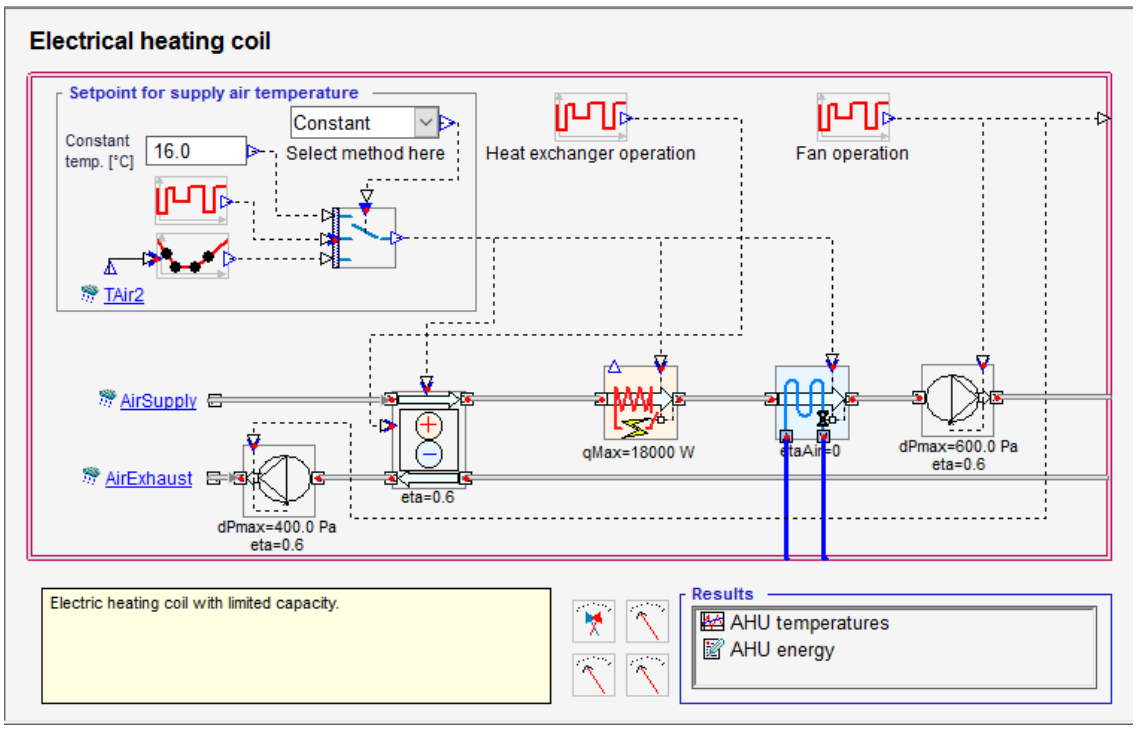
	Variables						
	Dry-bulb temperature, Deg-C	Rel humidity of air, %	Direct normal rad, W/m2	Diffuse rad on hor surf, W/m2	Wind speed, x-component, m/s	Wind speed, y-component, m/s	Cloudness, %
January	-5.6	84.5	58.1	7.7	1.3	-0.0	64.5
February	-5.3	73.9	87.5	22.7	1.1	-1.1	66.1
March	0.2	78.3	119.0	48.4	0.8	2.6	64.8
April	2.9	69.8	180.4	80.7	0.8	-0.5	52.1
May	9.6	66.2	244.3	102.9	-0.2	0.1	47.9
June	13.3	71.2	216.0	127.5	-0.4	-0.2	58.0
July	15.3	75.2	187.0	122.9	-0.5	0.3	57.5
August	14.8	76.0	176.4	96.1	0.5	0.6	55.5
September	8.9	85.5	121.7	63.2	1.1	0.1	63.5
October	5.7	82.2	112.6	29.9	1.8	1.1	56.3
November	-0.4	81.5	64.8	11.0	1.7	-1.3	63.1
December	-5.3	83.2	50.4	5.1	2.3	-0.2	45.7
mean	4.6	77.3	135.1	60.0	0.8	0.1	57.8
mean*8760.0 h	40041.6	677380.5	1183588.0	525919.0	7369.2	1295.9	506690.0
min	-5.6	66.2	50.4	5.1	-0.5	-1.3	45.7
max	15.3	85.5	244.3	127.5	2.3	2.6	66.1

Figur 19 Klimatfil för Söderhamn

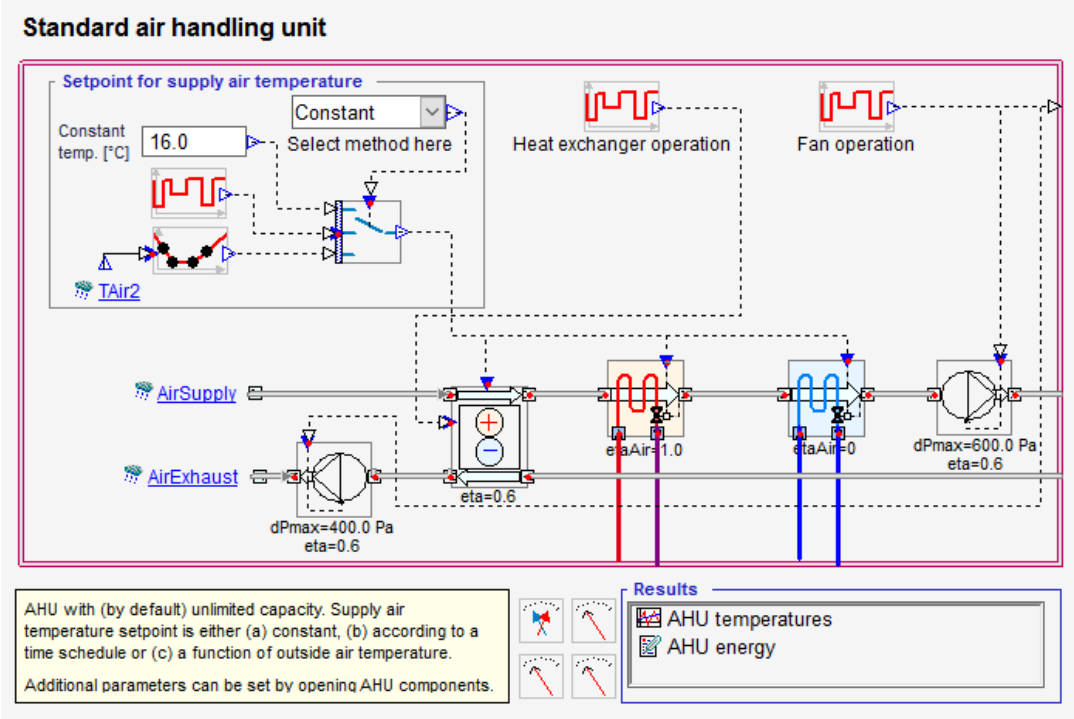
4.8 Indata ventilation, belysning och radiatorer

Ventilation

Erhållna värden på ventilationsflöden och mätningar lades till i varje zon. Huvudbyggnaden består av ett FTX-ventilationssystem med nattkyla och paviljongen ett FTX-system samt tre eluppvärmda ventilationsaggregat. Dessa tre adderades till ett aggregat i IDA ICE vilket framgår i figur 20. FTX-systemen i huvudbyggnad och paviljong ter sig enligt figur 21. Kylbatteri i ventilationssystemen ställdes in till noll då ingen kylning används.



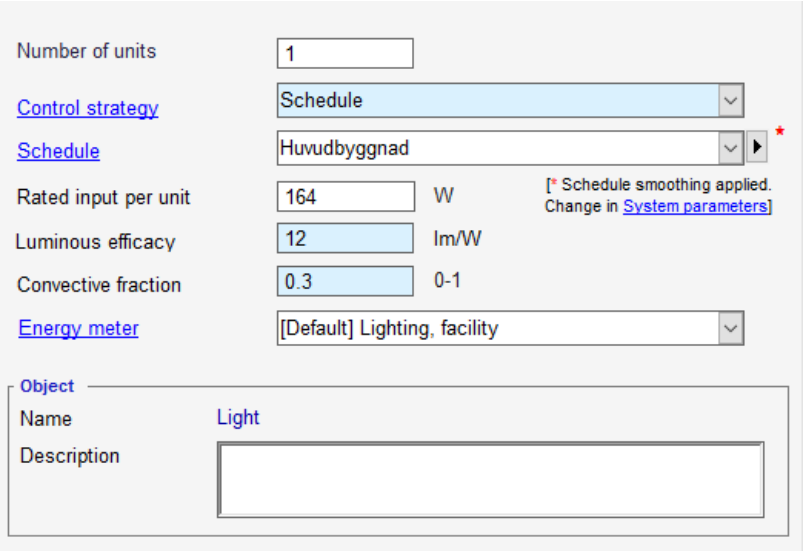
Figur 20 eluppvärmd ventilation



Figur 21 FTX-system huvudbyggnad

Belysning

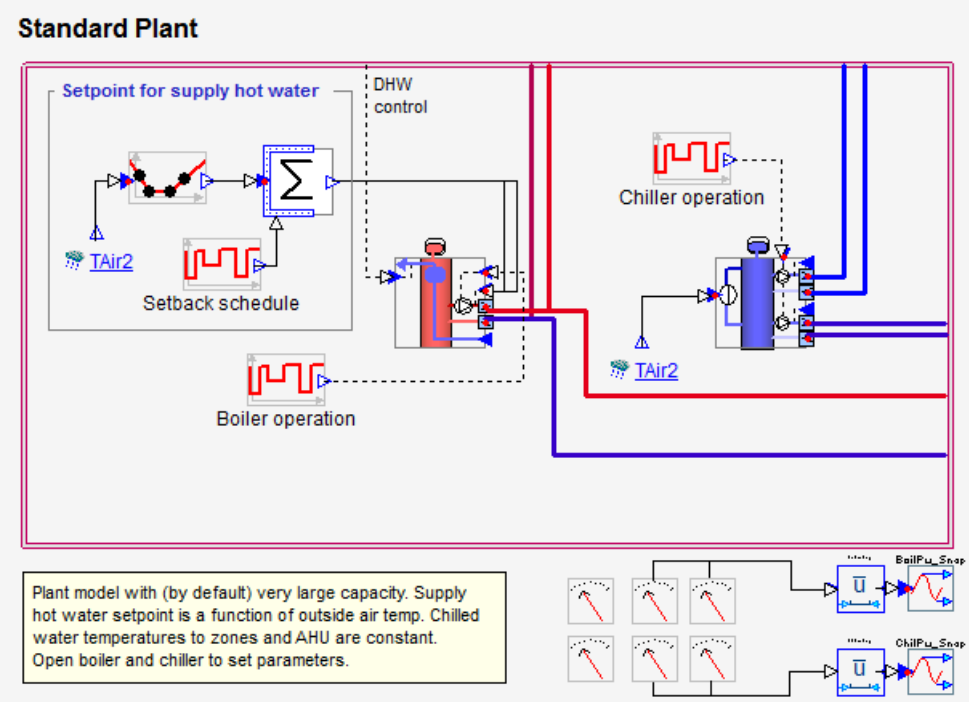
Belysningens i skolan inventerades för varje zon där effekter samt antal armaturer samlades in. Belysning för varje zon lades in som en enhet med en total effekt från alla armaturer vilket visas i figur 22. ”Rate input per unit” motsvara den totala effekten för alla armaturer i zon 208.Matsal.



Figur 22 exempel på belysning i zon 208Matsal

Fjärrvärmesystem & Radiatorer

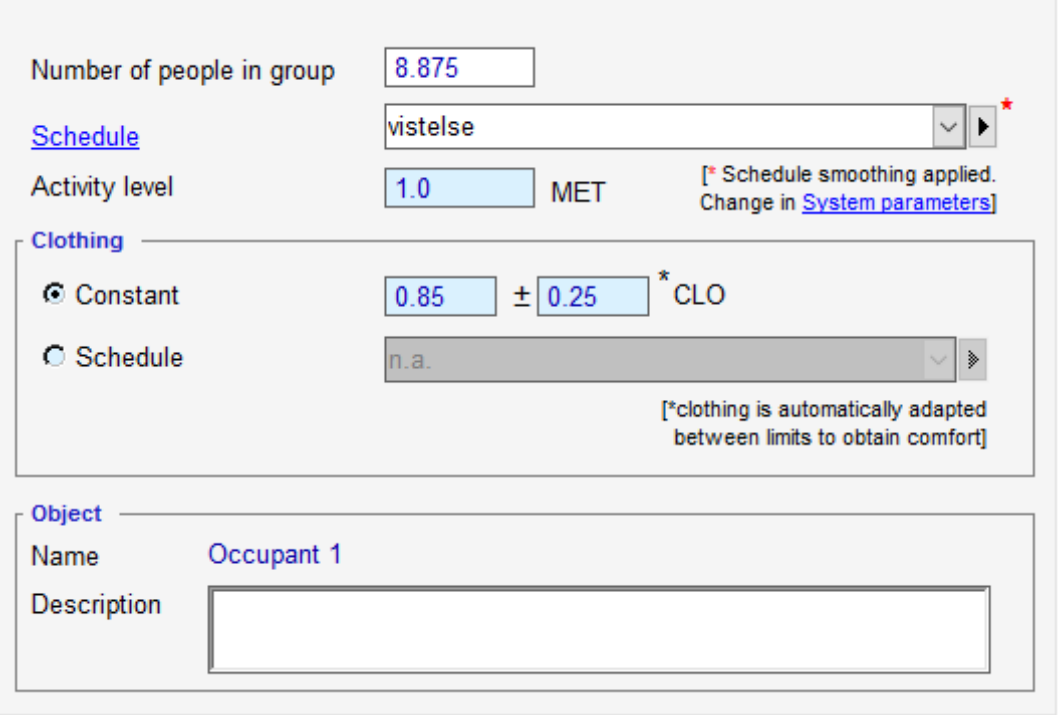
El-radiatorer användes i paviljongdelen byggd 2004 och en inventering av effekter för varje radiator samlades in och lades in i IDA ICE. Radiatorerna står på året om på full effekt vilket IDA ICE inte tar hänsyn till då den använder radiatorerna vid behov. Resterande delen av paviljongen och huvudbyggnaden är kopplade till samma uppvärmningssystem som är fjärrvärmedrivet. Fjärrvärmesystemet framgår i figur 23. Då skolan inte har någon fjärrkyla bortsågs dessa från alla zoner.



Figur 23 Fjärrvärmesystem

4.9 Vistelse i zon

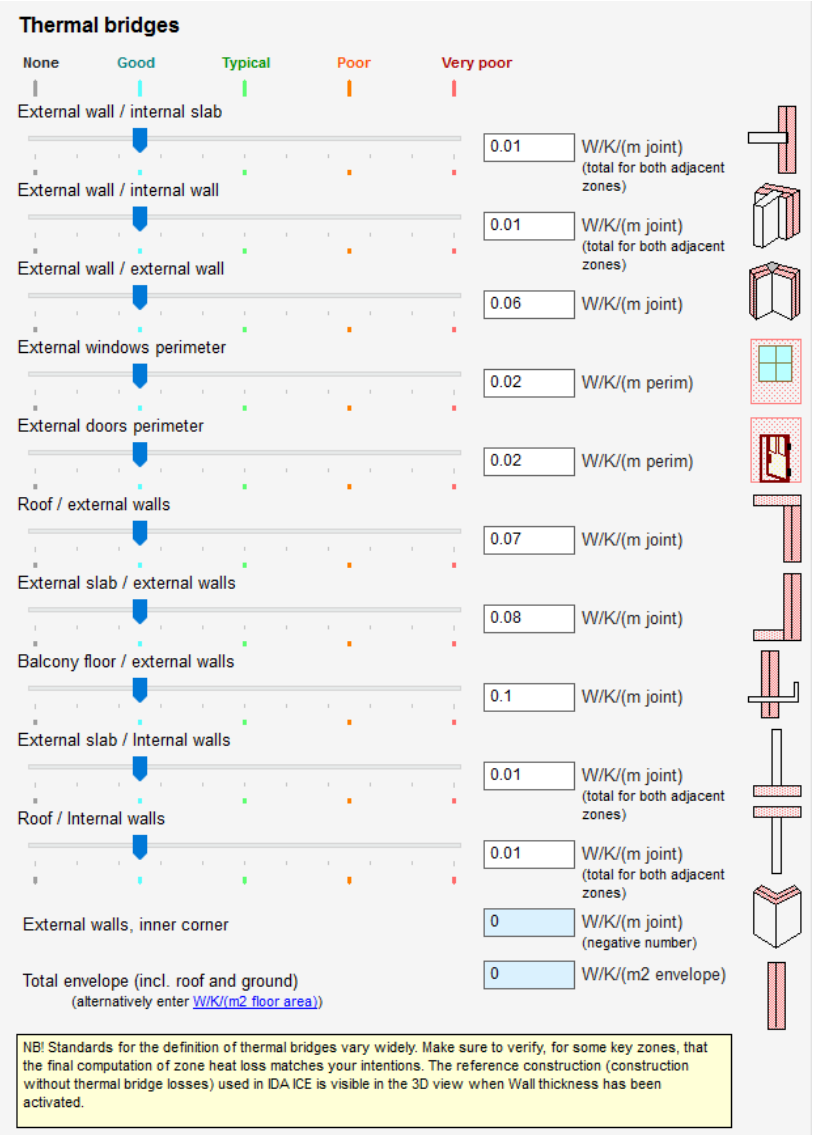
Beräkningar på antal elever i skolan samt lärare inkluderades i klassrum och matsal. Eftersom att barn är mindre än vuxna och därmed avger mindre värme lades elever in som en halv vuxen. Totalt går det 102 elever på skolan. Av dem går 63st på låg- och mellanstadiet och 39st på förskolan. För att beräkna fördelningen av elever avgränsades vistelsezon till klassrum och matsal. I skolan fanns 4 klassrum varav 2 i huvudbyggnaden och 2 i paviljongen. De 63 elever som går på låg- och mellanstadiet fördelades i klassrummen samt att en lärare inkluderades i varje klassrum vilket medför att det blev 8,875 personer per rum vilket visas i figur 24. Av de 39 barn som går på förskolan är 16 placerade i paviljongdelen från 2004 och 23 i delen från 1998. I snitt gav detta att 5,5 personer vistas i förskolans klassrum.



Figur 24 beräknad vistelse för ett klassrum

4.10 Köldbryggor

Inga mätningar på köldbryggor genomfördes därav lades köldbryggorna in som ”Good” i huvudbyggnaden i IDA ICE vilket framgår i figur 25. Då huvudbyggnaden har relativt nya påbyggnationer. För paviljongen som har sämre konstruktion lades köldbryggorna in som ”typical”.



Figur 25 Köldbryggor huvudbyggnaden

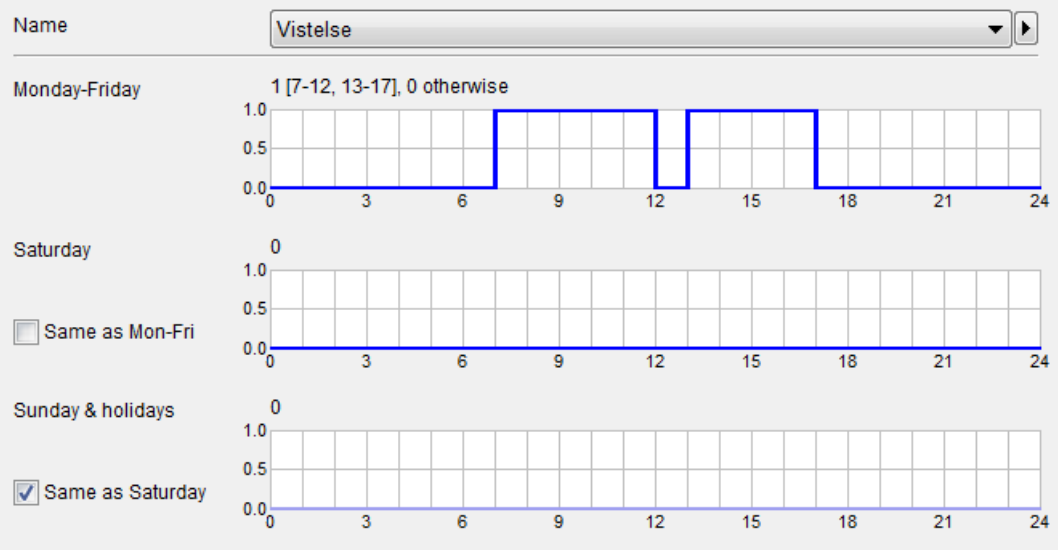
4.11 Varmvattenbehov

Varmvattenbehovet togs från Gavlefastigheters projekteringskrav för energi där skolor uppskattas använda 10 kWh/m^2 år och förskolor 13 kWh/ m^2 år. I paviljongen ställdes varmvattenbehovet in till 11,5 kWh/ m^2 år då den delen innehåller både skola och förskola. I huvudbyggnaden ställdes 7 kWh/ m^2 år in då byggnadens yta var stor i förhållande till antal elever [13].

4.12 Scheman

4.12.1 Schema för vistelse

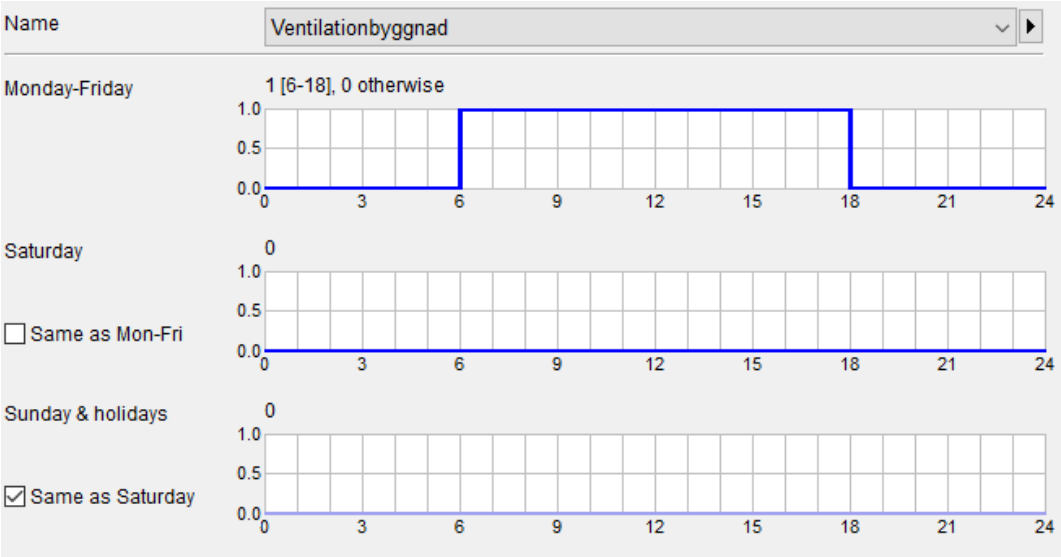
Scheman för vistelse lades in olika i huvudbyggnaden och paviljongen. I huvudbyggnaden gjordes schemat enligt figur 26, vilket medför att eleverna är där 07-17 med undantaget att det inte är någon i klassrummen mellan 12-13 då dem är i matsalen vilket även den har ett eget schema. I paviljongen gjordes schemat för att motsvara att de vistande var där 06-18 då den delen innehåller en förskola.



Figur 26 schema för vistelse i huvudbyggnad

4.12.2 Schema för ventilation

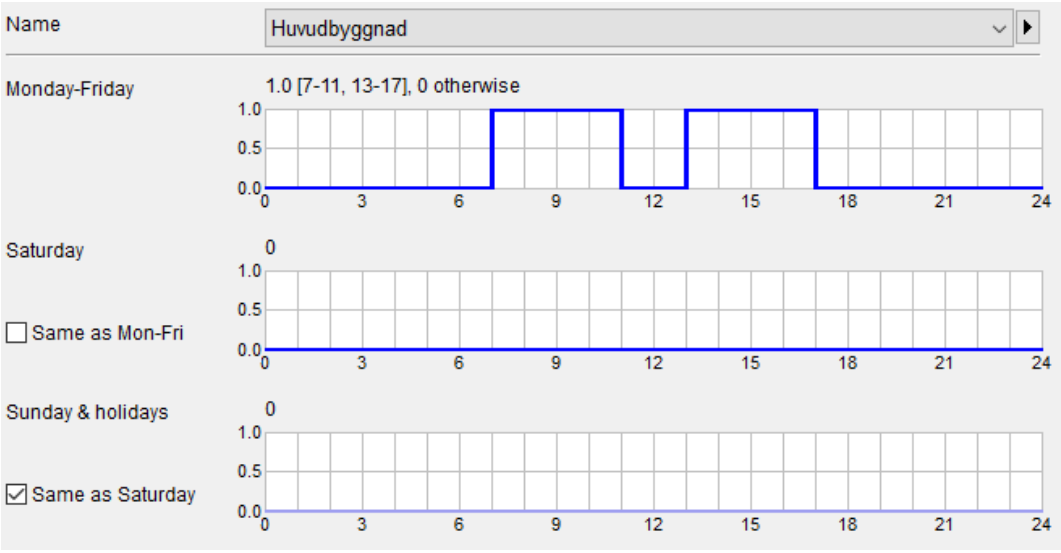
Två scheman för ventilation skapades då ventilationen i huvudbyggnaden går en timme mer än i paviljongen. Ventilationen i huvudbyggnaden är på 06-18 och schemat lades in enligt figur 27. Ventilationen i paviljongen är på en timme kortare till 17. Gemensamt för båda byggnadernas scheman är att de är på måndag till fredag.



Figur 27 schema för ventilationen i huvudbyggnaden

4.12.3 Schema för belysning

Belysningens schema gjordes efter när ockupanter vistats i byggnaden, antaget 07-17 måndag till fredag för huvudbyggnaden och 06-18 för paviljongen då paviljongen innehåller en förskola. Ytterligare scheman skapades då vissa delar av skolan nyttjades mer frekvent än andra. De scheman som framställdes var ett för källaren, gymnastiksal, omklädningsrum och toaletter. I källaren antogs att belysningen användes 4 timmar per dag och i resterande 1 timme per dag. I figur 28 visas belysningsschema för ett klassrum i huvudbyggnaden där det antas vara släckt mellan 11-13. Detta då all belysning inte nyttjas 10 timmar per dag.



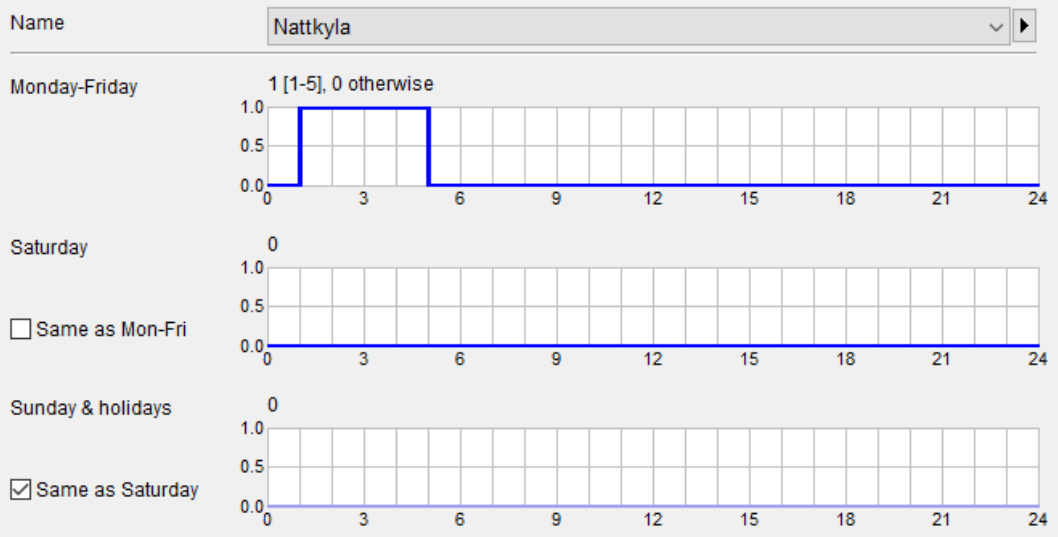
Figur 28 Schema för belysning i ett klassrum i huvudbyggnaden

4.12.4 Schema för nattkyla

Nattkyla är i drift om frånluftstemperaturen överstiger inställd startgräns på 23 grader och följande villkor är uppfyllda:

- Sommarperiod (första maj till sista september)
- Utetemperatur över inställd gräns (12 grader)
- Stoppar när frånlufttemperaturen sjunkit 4 grader under startgräns (23 grader)

Systemet för nattkyla är aktivt 01-05 måndag-fredag vilken framgår i figur 29.



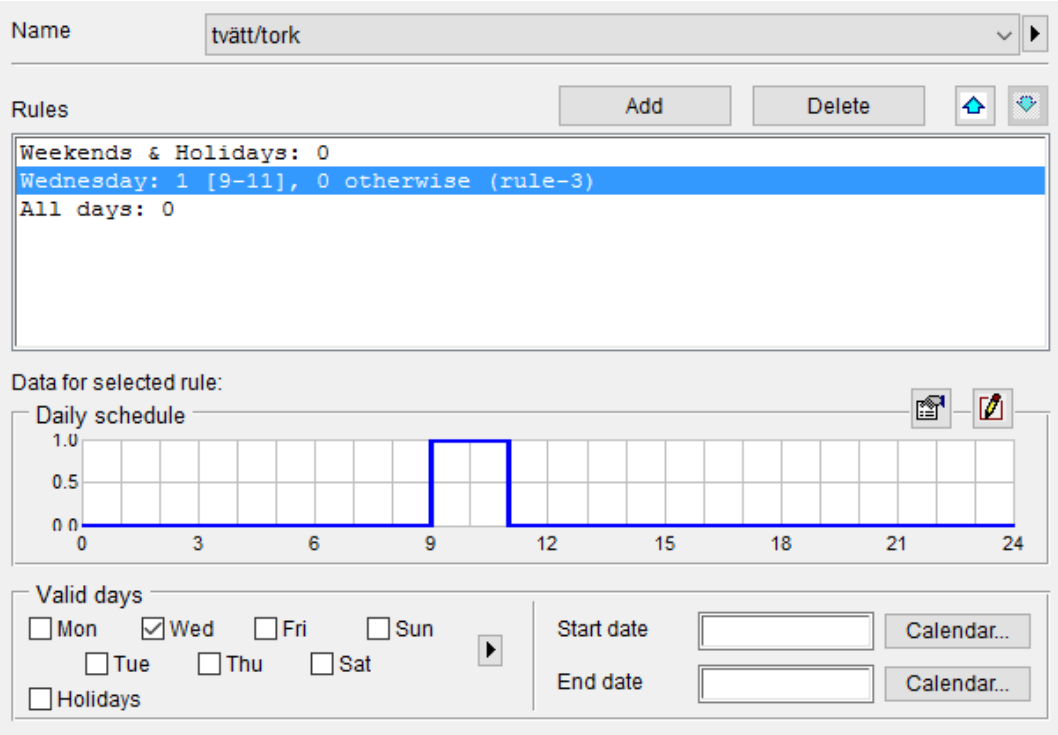
Figur 29 schema för nattkyla

4.12.5 Schema för apparatur

Olika scheman skapades för apparaturerna då det var stor skillnad på drifttider. Dom scheman som skapades var:

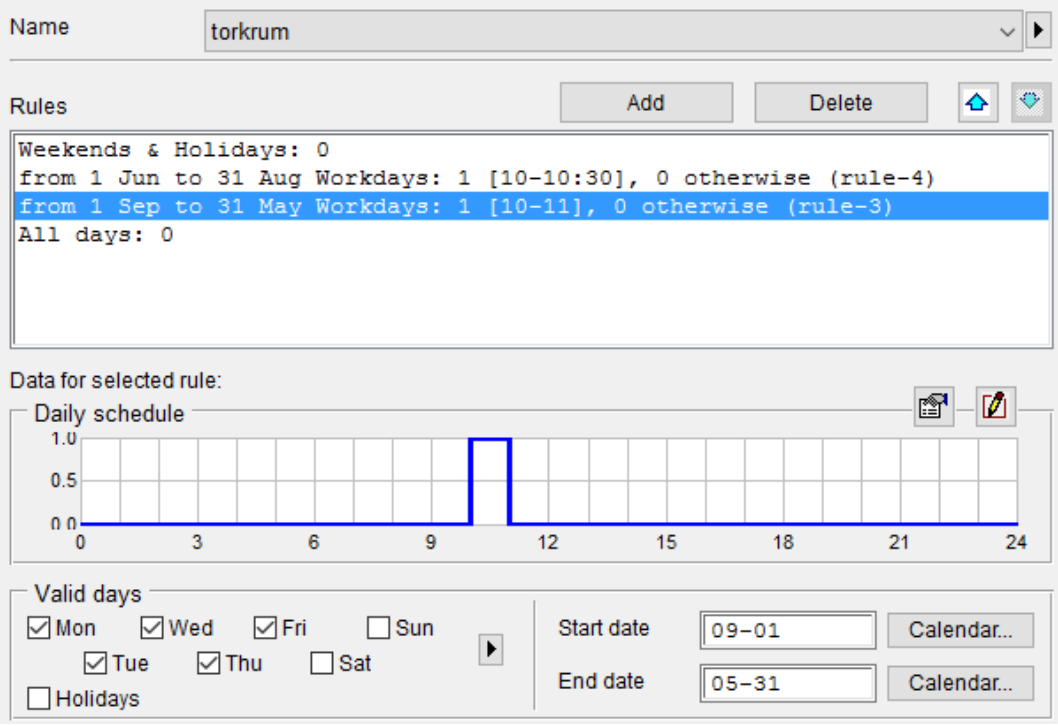
- Tvättmaskin och torktumlare
- Torkskåp
- Diskmaskin
- Kylskåp och Frys
- Värmevagn
- Skrivare
- Ugn

För tvättmaskiner och torktumlare gjordes schemat enligt figur 30 där det används en dag i veckan på onsdagar under två timmar. Detta då städningen av skolan sker en gång i veckan.



Figur 30 schema för tvättmaskin och torktumlare

Schemat för torkskåp och torkrum lades in enligt figur 31 där man under 1 juni – 31 augusti använde dem 0,5 timme per dag och 1 september – 31 maj använde dem 1 timme per dag måndag – fredag. I paviljongen ser schemat likadant ut men det är framskjutet två timmar och går 12:00 – 12:30 1 juni – 31 augusti och 12:00 – 13:00 1 september – 31 maj.



Figur 31 schema för torkrum och torkskåp

Schemat för diskmaskin gjordes så att man använder den en timme per dag måndag – fredag.

För kylskåp och frys gjordes inget eget schema då de alltid är på och ställdes in som ”always on”.

I köket och matsalen finns två värmevagnar som används 1,5 timme per dag måndag – fredag mellan 11.00 – 12.30.

Ugnen och spisen i köket lades in på samma schema och används 1,5 timme per dag måndag – fredag.

Skrivarens schema är inlagt som ”always on” då den alltid står i viloläge.

4.13 Energibesparingar

Energibesparingar på basmodellen uppkom från simuleringar, antaganden, vetskap om byggnadens utformning och den teoretiska barkunden.

4.13.1 Byte av energibärare

För att effektivisera byggnadens energianvändning byttes elradiatorer i paviljongen ut mot radiatorer kopplade till fjärrvärmesystemet. Då vi noterade att energianvändningen var hög i paviljongbyggnaden samt att direktverkande el inte är något effektivt uppvärmningssätt.

4.13.2 Tilläggsisolera

Tilläggsisolering av ytterväggar för att minska energianvändningen vid uppvärmning. Genom att addera 10 cm isolering till ytterväggar, U-värdet minskade från 0,2022 till 0,1298 W/m^{2}K i paviljongbyggnaden. I huvudbyggnaden blev minskningen från 0,1631 till 0,1122 W/m^{2}K.

4.13.3 Byte av fönster

Fönster i byggnaden bestod av antingen 2-glas eller 3-glas med U-värde på 1,6 till 2,0 W/m^{2}K. För att energibespara utfördes en simulering där fönster ersattes med energifönster med klass A vilket tillåter ett u-värde på max 0,7 W/m^{2}K. Åtgärden valdes då fönster är en stor anledning till värmeförluster.

4.13.4 Byte av lampor

Att byta lampor i byggnaden är en av de enklare energieffektiviseringarna. Genom att byta de nuvarande lysrör och kompaktlysrör till motsvarande LED-belysning kan effekten sänkas avsevärt. Lysrör i byggnaden hade en effekt på 18, 28, 36 och 58 W, LED lysrör som motsvarar dessa har effekter på 10, 13, 16 och 22 W. Kompaktlysrör i skolan hade effekter mellan 11 och 28 W dessa byttes ut mot LED lampor som hade effekter mellan 5 och 18 W [19][41].

4.13.5 Energibesparingspotential vid totalrenovering

För att se hur mycket energi som potentiellt kan besparas på skolan, genomfördes ytterligare en simulering där alla energibesparingar inkluderades. För huvudbyggnaden ändrades isoleringen, fönster, byte till roterande VVX med verkningsgrad på 80 % samt att belysningen byttes mot LED-belysning. I paviljongen tilläggsisolerades väggar, tak och golv, fönster byttes, fjärrvärme installerades istället för el, fjärrvärmeuppvärmt ventilationssystem samt att plattvärmeväxlaren byttes mot en roterande värmeväxlare.
Isoleringen i ytterväggarna ställdes in till 350 mm, i det externa golvet 400 mm, i taket på paviljongen 350 mm och i taket på huvudbyggnaden 500 mm. Värdena i tabell 5 användes för att få ett u-värde under det rekommenderade för nybyggnationer i klimatzon II. Rekommenderade isolerings tjocklekar motsvarade inte rätt u-värde enligt tabell 5 därav korrigerades tjocklekarna mot u-värde för varje byggnadsskikt [36].

Tabell 5 Byggnadskrav för klimatzoner i Sverige

Klimatzon	I		II		III/IV	
Konstruktion	mm	U_i	mm	U_i	mm	U_i
Ytterväggar med regelstommar	450	0,10	400	0,12	350	0,13
Ytterväggar med heltäckande utvändig isolering	400	0,10	350	0,12	300	0,13
Vindsbjälklag	700	0,06	600	0,07	500	0,08
Snedtak	450	0,09	400	0,10	350	0,12
Platta på mark	400	0,08	350	0,09	300	0,10
Låglutande tak och industritak	380	0,09	350	0,10	320	0,11

5 Resultat

5.1 Energianvändningen i byggnaden

Vid simulering av basmodellerna blev den totala energianvändningen 312 686 kWh/år av vilket el stod för 130 346 kWh/år och fjärrvärme 182 340 kWh/år. I tabell 6 framgår energianvändningen i paviljong respektive huvudbyggnad samt den totala energianvändningen för hela skolan. Energianvändning per kvadratmeter i huvudbyggnaden blev 159,5 kWh/m^2 och för paviljongen blev energianvändningen 199,6 kWh/m^2.

Tabell 6 paviljong samt huvudbyggnads energianvändning

		Paviljong		Huvudbyggnad		Totalt	
		kWh	kWh/m^2	kWh	kWh/m^2	kWh	kWh/m^2
	Lighting, facility	14639	23.4	11666	9.9	26305	17.2
	HVAC aux	12798	20.5	19181	16.3	31979	20.9
	Electric heating	31526	50.4			31526	20.6
	Total, Facility electric	58963	94.3	30847	26.2	89810	58.7
	District cooling	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	District heating	59069	94.5	123271	104.7	182340	119.1
	Total, Facility district	59069	94.5	123271	104.7	182340	119.1
	Total	118032	188.8	154118	130.9	272150	177.8
	Equipment, tenant	6768	10.8	33768	28.7	40536	26.5
	Total, Tenant electric	6768	10.8	33768	28.7	40536	26.5
	Grand total	124800	199.6	187886	159.5	312686	204.2

Den simulerade energianvändningen för el blev 2,3 % högre än det verkliga värdet och för fjärrvärmen blev användningen 3,1 % högre. Detta ligger inom ramarna för den existerande byggnadens energianvändning då en felmarginal på ±5 % är godtyckligt.

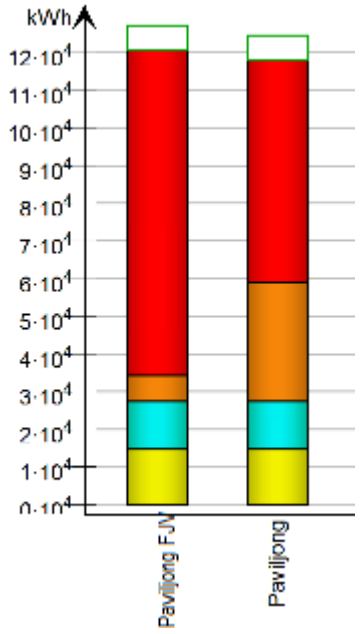
5.2 Energibesparingsåtgärder

5.2.1 Byte av energibärare för uppvärmning av paviljong 04

El-radiatorerna i paviljongdelen från 2004 använde 63 701 kWh/år. Vid byte till FJV blev energianvändningen för radiatorerna 66 532 kWh/år, en ökning på 2 831 kWh/år. Elanvändningen minskade med 24 696 kWh/år och fjärrvärmen ökade med 27 169 kWh/år vilket framgår i tabell 7 och figur 32.

Tabell 7 Energianvändning för paviljongen vid endast fjärrvärme uppvärmning samt vid el och fjärrvärme uppvärmning.

		Paviljong FJV		Paviljong	
		kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
	Lighting, facility	14646	23.4	14639	23.4
	HVAC aux	12787	20.4	12798	20.5
	Electric heating	6834	10.9	31526	50.4
	Total, Facility electric	34267	54.8	58963	94.3
	District cooling	0	0.0	0	0.0
	District heating	86238	137.9	59069	94.5
	Total, Facility district	86238	137.9	59069	94.5
	Total	120505	192.8	118032	188.8
	Equipment, tenant	6768	10.8	6768	10.8
	Total, Tenant electric	6768	10.8	6768	10.8
	Grand total	127273	203.6	124800	199.6



Figur 32 Jämförande av energianvändning vid fjärrvärme uppvärmt samt vid el och fjärrvärme uppvärmning.

5.2.2 Tilläggsisolering av ytterväggar

Väggarna på basmodellen släpper igenom 22 119 kWh/år. Via tilläggsisolering minskade värmeförlusterna genom väggarna med 6 962 kWh/år. Den totala minskningen av tillförd energi blev 5 786 kWh/år. Totala elanvändningen stod för 129 236 kWh/år och fjärrvärmeanvändningen 177 664 kWh/år vilket framgår i tabell 8. Energibesparingen motsvarar 1,9 % av basmodellens energianvändning.

Tabell 8 Energianvändnning vid tilläggsisiolering av ytterväggar.

		Paviljong		Huvudbyggnad		Totalt	
		kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
	Lighting, facility	14636	23.4	11666	9.9	26302	17.2
	HVAC aux	12802	20.5	19182	16.3	31984	20.9
	Electric heating	30416	48.6			30416	19.9
	Total, Facility electric	57854	92.5	30848	26.2	88702	57.9
	District cooling	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	District heating	57663	92.2	120001	101.9	177664	160.0
	Total, Facility district	57663	92.2	120001	101.9	177664	160.0
	Total	115517	184.8	150849	128.1	266366	174.0
	Equipment, tenant	6768	10.8	33766	28.7	40534	26.5
	Total, Tenant electric	6768	10.8	33766	28.7	40534	26.5
	Grand total	122285	195.6	184615	156.8	306900	200.5

5.2.3 Byte av fönster

Fönster på basmodellen släpper igenom 53 890 kWh/år. Vid byte till fönster med ett u-värde på 0,7 W/m²K minskade värmeförlusterna genom fönster till 27 672 kWh/år vilket framgår i tabell 9 samt tabell 10. Detta gav att värmeförluster genom fönsters minskade med 26 218 kWh/år. Den totala energibesparingen blev 21 400 kWh/år vilket motsvarade 6,8 %.

Tabell 9 energianvändning vid byte av fönster på huvudbyggnad.

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1805.6	-1297.0	-574.2	-2354.4	-445.7	-794.6
2	-1618.3	-1141.9	-615.1	-2135.8	-394.6	-714.9
3	-1463.8	-971.0	-762.2	-1949.1	-349.4	-639.5
4	-1322.1	-827.3	-815.4	-1804.1	-301.2	-569.0
5	-941.0	-473.2	-884.5	-1543.1	-233.4	-454.6
6	-744.6	-330.2	-781.4	-1220.8	-173.5	-346.4
7	-655.8	-283.1	-753.9	-1129.0	-163.5	-313.6
8	-626.4	-321.3	-659.0	-1014.8	-155.2	-288.8
9	-888.5	-591.5	-490.3	-1297.9	-230.0	-406.6
10	-1088.8	-785.9	-475.2	-1524.7	-282.4	-489.1
11	-1420.0	-1045.7	-445.4	-1901.1	-362.2	-630.7
12	-1783.2	-1314.7	-503.1	-2350.5	-447.9	-788.1
Total	-14357.9	-9382.7	-7759.6	-20225.4	-3539.1	-6435.8
During heating	-8939.6	-5668.9	-5478.4	-12798.4	-1730.1	-4478.2
During cooling	-3876.9	-2521.4	-1359.9	-5098.1	-1421.9	-1323.0
Rest of time	-1541.4	-1192.4	-921.3	-2328.9	-387.1	-634.6

Tabell 10 energianvändning vid byte av fönster på paviljong

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1178.5	-1528.6	-527.7	-735.1	-281.0	-598.6
2	-1029.8	-1334.5	-542.0	-662.1	-245.8	-536.9
3	-876.8	-1116.8	-674.1	-599.9	-207.8	-478.0
4	-709.6	-875.2	-715.6	-531.7	-161.6	-413.3
5	-430.1	-436.6	-731.0	-415.1	-96.1	-303.8
6	-272.6	-251.8	-697.3	-312.8	-54.5	-222.0
7	-229.8	-206.9	-665.2	-285.2	-46.8	-197.8
8	-249.7	-280.3	-574.0	-276.3	-53.1	-190.5
9	-492.0	-625.7	-454.0	-381.0	-113.8	-288.5
10	-673.0	-901.6	-423.2	-465.5	-160.0	-359.8
11	-932.4	-1224.4	-404.9	-592.0	-222.4	-472.9
12	-1184.3	-1549.2	-457.8	-736.1	-282.4	-594.9
Total	-8258.8	-10331.5	-6866.8	-5992.9	-1925.1	-4657.1
During heating	-6867.4	-8009.4	-3601.0	-4593.7	-1773.1	-3771.3
During cooling	-593.4	-1062.3	-1814.0	-629.1	-32.3	-368.0
Rest of time	-798.0	-1259.8	-1451.8	-770.1	-119.7	-517.8

5.2.4 Byte av belysning

Energianvändning för belysningen minskade med 14 117 kWh/år, mer än hälften av belysningen i byggnadens energianvändning. Energianvändningen för lysrör blev 26 305 kWh/år och för LED-belysning 12 188 kWh/år vilket framgår i tabell 10.

Tabell 11 Energianvändning lysrör kontra LED.

	Lysrör		LED	
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
Lighting, facility	26305	17.2	12188	7.8

5.2.5 Energibesparingspotential

Energibesparingspotentialen då en totalrenovering med samtliga energibesparingsåtgärder är gjorda framgår i tabell 11. När alla åtgärder appliceras finns en potential på närmare 54 000 kWh/år och motsvara en minskning på ca 17 %. Energianvändning per kvadratmeter i byggnaden blev nyckeltalet 204,2 kWh/m²år och via åtgärderna blev energianvändningen 169 kWh/m²år en minskning med 35,2 kWh/m²år. Vid enskilda jämförelser blev huvudbyggnadens energieffektivisering 25,1 % mindre och paviljongen 13 % mindre.

Tabell 12 jämförelse paviljong och huvudbyggnad vid energieffektiviseringåtgärder.

	Paviljong		Huvudbyggnad		Totalt	
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
Lighting, facility	6559	10.5	5629	4.8	12188	7.8
HVAC aux	12733	20.4	19137	16.3	31870	20.8
Total, Facility electric	19292	30.9	24766	21.0	44058	28.8
District cooling	0	0.0	0	0.0	0	0.0
District heating	82530	132.0	91640	77.8	174170	113.8
Total, Facility district	82530	132.0	91640	77.8	174170	113.8
Total	101822	162.9	116406	98.8	218228	142.6
Equipment, tenant	6770	10.8	33771	28.7	40541	26.5
Total, Tenant electric	6770	10.8	33771	28.7	40541	26.5
Grand total	108592	173.7	150177	127.5	258769	169.0

Elanvändningen per kvadratmeter blev vid åtgärderna 55,3 kWh/m²år och värmeanvändningen blev 113,8 kWh/m²år. Elanvändningen ligger 9,2 kWh/m²år över Gavlefastigheters medel men under Sveriges medel för lokaler. Genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för paviljong och huvudbyggnad blev 0,155 W/m²K.

Återvunnen energi i värmeväxlaren vid byten från plattvärmeväxlare till roterandevärmeväxlare framgår i tabell 12. Paviljongens värmeåtervinning ökade med 10 728,2 kWh/år och för huvudbyggnaden ökade återvunnen energi med 10 820 kWh/år. Energianvändningen för uppvärmning av tilluften minskade till 10 560,6 kWh/år i paviljongen och 10 791,3 kWh/år i huvudbyggnaden.

Tabell 13 Värmeåtervinning vid byte från plattvärmeväxlare till roterande.

Case	AHU heating	AHU heat recovery
Paviljong	17042.8	59026.5
Paviljong renoverad	6482.2	69754.7
byggnad	17429.0	80360.0
byggnad renoverad	6637.7	91180.0

6 Diskussion

Trödje skola använder 21 % mer energi än genomsnittet för Gavlefastigheters skolor, via energieffektiviseringar på fönster, tilläggsisolering av väggar och byte av energibärare blev minskningen individuellt oansenlig. Fönsterbyte är den individuella åtgärd med störst energibesparingspotential då besparingen blev 6,8 %. De nuvarande fönstren är relativt nya och har u-värde mellan 1,6 och 2 W/m^2K, vilket är normalt för byggnader. Energibesparingen blev därför liten jämfört med vad utfallet på ett fönsterbyte kan förväntas. Skolan är komplex ur energisynpunkt och geometri, då den har påbyggnationer som har skett i etapper samt att den använder både el och fjärrvärme för uppvärmning.

Olika ventilationsaggregat har tillkommit med påbyggnationer, totalt använder skolan 5 aggregat varvid 3 är eluppvärmda och 2 är uppvärmda via fjärrvärme. Att förenkla skolans ventilation och uppvärmning är en faktor för att minska energianvändningen. Elradiatorerna i paviljongbyggnaden är konstant påslagna och borde korrigeras eller regleras. Enligt Gavlefastigheter kommer paviljongbyggnaden från 2004 att avverkas inom 2019 vilket kan leda till att energianvändningen förbättras då den delen är eluppvärmd. Vistelsen i skolan kommer bli mindre då mellanstadiet på skolan planeras att läggas ner vilket kan bidra till differens i energianvändning då det blir mindre internt genererad värme.

Energianvändningen per kvadratmeter i huvudbyggnaden och paviljongen skiljde sig drastiskt då paviljongen använde ca 1/5 mer energi än huvudbyggnaden. Påbyggnationen paviljongen är från början en temporär lösning för utrymme och är sämre ur energisynpunkt då den har mindre isolering samt är till stor del eluppvärmd.

Av Gavlefastigheters medelenergianvändning för skolor ligger el på 46,1 $kWh/m^2år$ och fjärrvärme 110,6 $kWh/m^2år$. I Trödje skola används 85,2 $kWh/m^2år$ el och 119,1 $kWh/m^2år$ för fjärrvärme. Att elanvändningen i skolan nästan är dubbelt så hög som medel användningen är en bidragande anledning till att skolan använder mer energi. Byte från direktverkande el till annan uppvärmningskälla bidrar till att elanvändning i skolan minskar till 64,5 $kWh/m^2år$, vilket ändå ligger över snittet för el. Energianvändningen i skolan är dålig på grund av flera faktorer, speciellt bidragande är uppvärmningen av byggnaden då den har lite isolering samt mycket fönster.

Målet att minska energianvändningen i skolan med 25 % uppnåddes inte då alla energieffektiviseringsåtgärder användes. Om alla åtgärder applicerades blev energiminskningen ca 17 % vilket ändå är en stor energibesparing då närmare 54 000 kWh/år är möjligt att spara. Totala energianvändningen för skolan är så pass hög att en minskning på 25 % motsvarar mycket energi.
Energieffektiviseringsåtgärder för värme samt el i paviljongen och huvudbyggnaden skiljde sig då huvudbyggnaden hamnade under snittet för Gavlefastigheters skolor för både värme och el. Paviljongbyggnaden hamnade över för båda energiformerna och använde totalt 173,7 kWh/m^{2}år. Huvudbyggnaden däremot hamnar under på 127,5 kWh/m^{2}år, snitt för skolors energianvändning per kvadratmeter för Gavlefastigheter är 156,7 kWh/m^{2}år. Paviljongbyggnaden är en stor faktor till att den totala energianvändningen ligger över medel. Energibesparingspotential i huvudbyggnaden motsvarade 20 % och för paviljongen 13 %.

Att byta ut el-radiatorerna i paviljongbyggnaden mot radiatorer kopplade till fjärrvärmesystemet var en åtgärd där vi trodde att en minskning av den totala energin skulle ske. Att detta inte skedde kan ha med att elradiatorerna inte klarade av att värma upp paviljongbyggnaden. Att energianvändningen blev högre betyder inte alltid att det blir dyrare då ett annat värmesystem kan vara effektivare.
Vid byte från nuvarande belysning till LED-belysning finns en energibesparingspotential på närmare 54 % jämfört med tidigare belysning, vilket motsvarar 14177 kWh/år. Ur energisynpunkt motsvarade fönsterbyte 21 400 kWh/år vilket är en betydligt dyrare åtgärd än byte av belysning.
Värmegenomgångkoefficienten för hela byggnaden efter renoveringen blev 0,155 W/m^{2}K vilket är under det högsta tillåtna u-medelvärdet för lokaler. Det beror på att den simulerade byggnaden är renoverad mot Boverkets krav för nybyggnation.

Elanvändningen för skolan ligger 9,2 kWh/m^{2}år över Gavlefastigheters medel vilket kan bero på att skolan har kök i huvudbyggnaden, vilket inte alla låg- och mellanstadieskolor har. Genom användning av effektivare värmeväxlare i ventilationssystemet finns det en energibesparing potential för uppvärmning av tilluften på närmare 62 %. En energibesparing på 21 351,9 kWh/år vilket ger en likvärdig besparing som för fönsterbyte. Denna åtgärd kan anses enklare att tillämpa

Något som är svårt att få med i simuleringar och beräkningar av energianvändning är beteendet hos de som vistas i byggnaden vilket vi uppmärksammat när vi varit på skolan. Elradiatorerna i paviljong har stått på full effekt samt att man i vissa fall haft fönster öppna för att det har varit för varmt inomhus. Vi har även noterat att de har haft värmeaggregatet i torkrummet på med dörren till rummet öppen.

Simuleringen utgår ifrån att göra byggnaden så optimal som möjligt och vid flera energisystem kan dessa konkurrera med varandra. Vilket kan bidra till att simulerade värden kan bli mindre korrekta än beräknade värden.

7 Slutsats

Arbetet inkluderar diverse åtgärder för att minska skolans energianvändning. Paviljongbyggnadens energianvändning är betydligt högre än huvudbyggnaden och främsta anledningen till att skolan använder mer energi än Gavlefastigheters snitt för skolor. Vid åtgärder på byggnaden blev resultatet att 17 % energibesparing är möjlig, om paviljongbyggnaden hade uteslutits från beräkningarna hade minskningen motsvarat 25,1 %. Då skolans utformning är komplex och den nyttjar fler energislag är en standardisering av energislag att rekommendera. Skolan använder mer energi än genomsnittet dels på grund av transmissionsförluster genom hela klimatskalet vilket resulterar i hög energianvändning vid uppvärmning, främst genom fönster och tak. Byte av belysning och värmeväxlare är de renovering åtgärder vi rekommenderar då de har högst besparing i förhållande till ingrepp. Byte från direktverkande el till fjärrvärme är ett bra renoveringsalternativ men då paviljongen från 2004 planeras att avverkas till 2019 är det inte aktuellt med någon renovering. Byte av fönster är ett stort ingrepp med avseende på mängden energi som sparas då skolan redan har fönster med godtyckliga u-värden. Med avseende på skolans geometri är tilläggsisolering av väggar ett avancerat renoveringsalternativ.

8 Framtida studier

Vid framtida studier av byggnaden finns parametrar av intresse. Totala ventilationsmätningar av byggnaden då mätningar på hela byggnaden inte genomförts. En komfortanalys skulle vara intressant för att se hur inomhusklimatet är för de vistande. Energibeteende hos de vistande skulle vara av intresse att studera. Mätningar av köldbryggor med IR-termografering för mer exakt simulering och beräkningar. Infiltration i byggnaden är av intresse för framtida studier via mätningar med ”blower door”-metoden.

9 Referenser

[12] Artmann, N., Manz, H., & Heiselberg, P. (2008)'Parameter study on performance of building cooling by night time ventilation', Renewable Energy, 33(12): 2589-2598

[19] Aura Light, TabellSV [Elektronisk] http://www.auralight.se/70-energibesparing-och-snabb-installation/ (Hämtad: 2017-05-22)

[25] Backlund, S., & Thollander, P. (2015) 'Impact after three years of the Swedish energy audit program', Energy, 82: 54-60

[10] Backlund, S., Thollander, P, Palm, J., & Ottosson, M. (2012) 'Extending the energy efficiency gap', Energy Policy, 51: 392-396

[14] Ben, H., & Steemers, K. (2014) 'Energy retrofit and occupant behaviour in protected housing: A case study of the Brunswick Centre in London', Energy and Buildings, 80: 120-130

[29] Björsell, N., Bring, A., Eriksson, L., Grozman, P., Lindgren, M., Sahlin, P., Shapovalov, A., & Vuolle, M. (1999)'IDA INDOOR CLIMATE AND ENERGY', Building simulation 99 – Kyoto Japan

[15] Boverket, Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BBR [Elektronisk] http://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf (Hämtad: 2017-05-31)

[35] Boverket, Energiklasser från A till G [Elektronisk] http://www.boverket.se/sv/byggande/energideklaration/energideklarationens-innehall-och-sammanfattning/sammanfattningen-med-energiklasser/energiklasser-fran-ag/ (Hämtad: 2017-05-22)

[26] Butala, V., & Novak, P. (1999) 'Energy consumption and potential energy savings in old school buildings', Energy and Buildings, 29(3): 241-246

[7] Böhringer, C., Rutherford, T. F., & Tol, R. S. J. (2009) 'The EU 20/20/20 targets: an overview of the EMF22 assessment, energy economics', Energy Economics, 31: 268-273

[37] Comfort Control, AccuBalance 8380 [Elektronisk] http://www.comfort-control.se/uploads/extrafiles_file_317.pdf) (Hämtad: 2017-04-29)

[38] Comfort Control, Luftflödesmätare TSI [Elektronisk] http://www.comfort-control.se/ventilation/direktflodesmatare/tsi-accubalance-8380/ (Hämtad: 2017-04-29)

[1] Energimyndigheten, Energiläget 2015 [Elektronisk] https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=5521 (Hämtad: 2017-05-03)

[2] Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2017 (Excel) [Elektronisk] http://www.energimyndigheten.se/Statistik/Energilaget/?currentTab=1#mainheading (Hämtad: 2017-05-03)

[27] Energimyndigheten, Lagen om energikartläggning i stora företag [Elektronisk] http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/lag-och-ratt/energikartlaggning-i-stora-foretag/ (Hämtad: 2017-05-05)

[17] EQ Fönster, FAKTA, Varför energimärkning? [Elektronisk] www.energifonster.nu/sv/fakta.aspx (Hämtad: 2017-05-29)

[28] EQUA, IDA Indoor Climate and Energy [Elektronisk] http://www.equa.se/en/ida-ice (Hämtad: 2017-05-03)

[8] Europeiska kommissionen, Europa 2020-mål [Elektronisk] http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_sv.pdf (Hämtad: 2017-05-02)

[4] EU-upplysningen, Klimatmål för att stoppa global uppvärmning [Elektronisk] http://www.eu-upplysningen.se/Om-EU/Vad-EU-gor/Miljopolitik-i-EU/Klimatmal-for-att-stoppa-global-uppvarmning/ (Hämtad: 2017-05-02)

[13] Gavlefastigheter, Projekteringskrav Energi [Elektronisk] http://www.gavlefastigheter.se/Sidfiler/623/2253-M-150-141210%20BN%20Projekteringskrav%20Energi.pdf (Hämtad: 2017-05-08)

[41] Ledia, LED-lysrör [Elektronisk] http://www.ledia.se/Webshop.html?lsi=l&lsc=1254 (Hämtad: 2017-05-22)

[3] Liobikienè, G., & Butkus, M. (2017). 'The European Union possibilities to achieve targets of Europe 2020 and Paris agreement climate policy', Renewable Energy, 106: 298-309

[16] Liu, L., Moshfegh, B., Akander, J., & Cehlin, M. (2014) 'Comprehensive investigation on energy retrofits in eleven multi-family buildings in Sweden', Energy and Buildings, 84: 704-715

[24] Magrini, A., Gobbi, L., & d'Ambrosio, F. R. (2016) 'Energy audit of public buildings: The energy consumption of a university with modern and historical buildings', Energy Procedia, 101: 169-175

[18] Montoya, F. G., Peña-García, A., Juaidi, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017) 'Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving', Energy and Buildings, 140: 50-60

[22] Purmo LVI, Vattenburen värme [Elektronisk] http://cleverheating.se/kategori/vattenburen-varme/ (Hämtad: 2017-05-24)

[33] Raatikainen, M., Skön, J. P., Leiviskä, K., & Kolehmainen, M. (2016) 'Intelligent analysis of energy consumption in school buildings', Applied Energy, 165: 416-429

[39] Reaco Rents, TSI-8386 VelociCalc Plus [Elektronisk] http://www.raecorents.com/products/hvac/TSI-8386-VelociCalc-Plus/TSI-Velocicalc-Plus-8386-ds-2005-rB.pdf (Hämtad: 2017-04-29)

[5] Regeringskansliet, Klimatavtalet från Paris [Elektronisk] http://www.regeringen.se/regeringens-politik/klimatavtalet-fran-paris/ (Hämtad: 2017-05-02)

[6] Regeringskansliet, Övergripande mål och svenska mål inom Europa 2020 [Elektronisk] http://www.regeringen.se/sverige-i-eu/europa-2020-strategin/overgripande-mal-och-sveriges-nationella-mal/ (Hämtad: 2017-05-02)

[36] Rockwool, BBR kravnivåer [Elektronisk] http://static.rockwool.com/globalassets/rockwool-se/teknisk-support/broschyrer/byggisolering/isolera-ratt-rockwool.pdf (Hämtad: 2017-05-16)

[30] Sahlin, P., Eriksson, L., Grozman, P., Johnsson, H., Shapovalov, A., & Vuolle, M. (2004) 'Whole-building simulation with symbolic DAE equations and general purpose solvers', Building and Environment, 39(8): 949-958

[9] SKL – Sveriges Kommuner och Landsting [Elektronisk] http://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7164-529-6.pdf?issuusl=ignore (Hämtad: 2017-06-15)

[31] Sekki, T., Airaksinen, M., & Saari, A. (2015) 'Measured energy consumption of educational buildings in a finnish city', Energy and Buildings, 87: 105-115

[20] Svensk Fjärrvärme, Konvertering [Elektronisk] http://www.svenskfjarrvarme.se/Medlem/Fokusomraden-/Smahusguiden/Arbete-i-huset/Konvertering/ (Hämtad: 2017-05-28)

[34] Sveriges Riksdag, Lag (2006:985) om energideklaration för byggnader [Elektronisk] http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2006985-om-energideklaration-for_sfs-2006-985 (Hämtad: 2017-05-22)

[40] Swema, SwemaFlow 125 [Elektronisk] http://www.camfil.com/Global/Documents/Norway/PDF/SwemaFlow125D_sv.pdf (Hämtad: 2017-04-29)

[32] Thewes, A., Maas, S., Scholzen, F., Waldmann, D., & Zürbes, A. (2014) 'Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg', Energy and Buildings, 68(A): 460-470

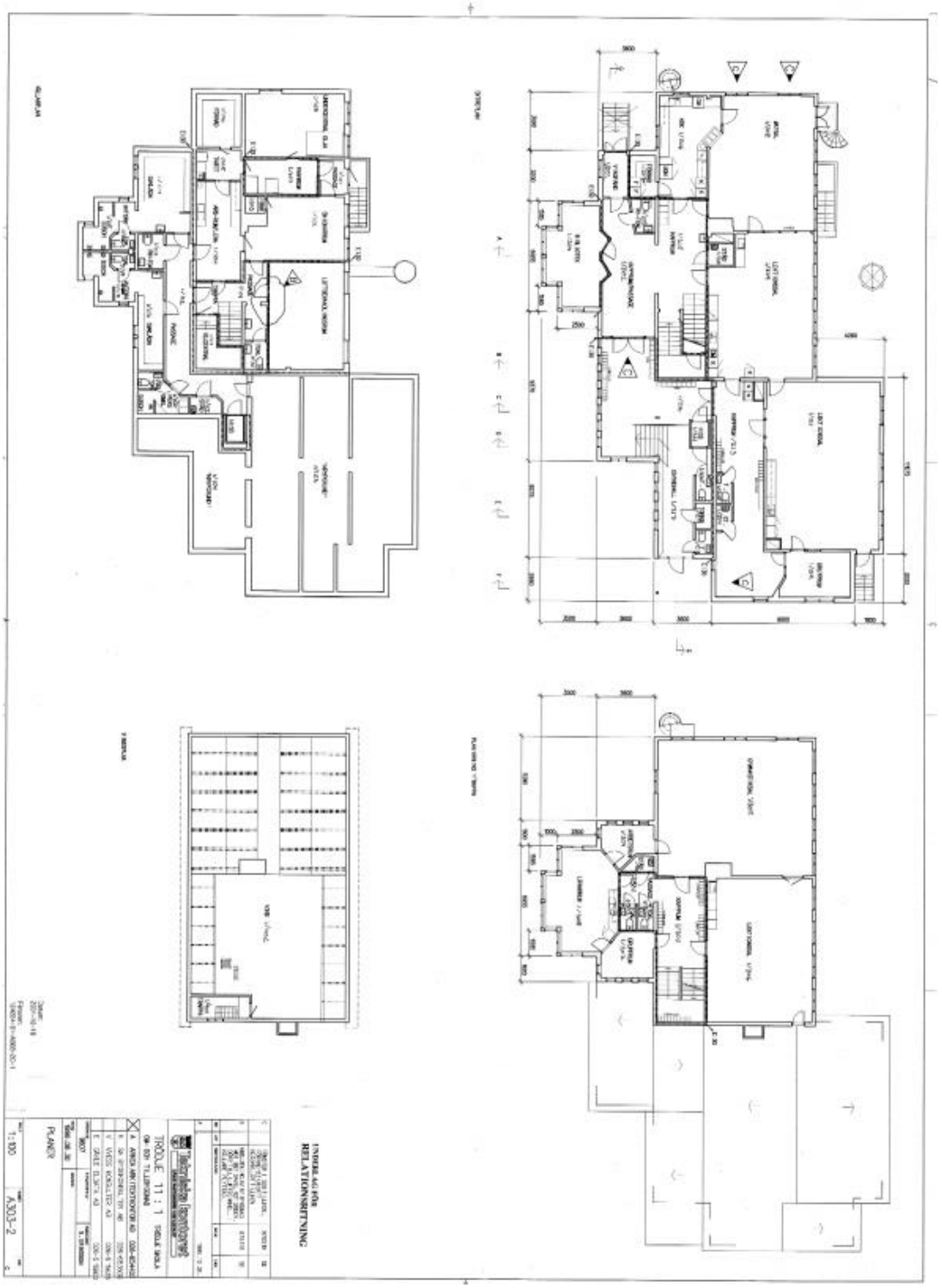
[21] VVS Forum, Effekterna för konverteringsstöd av direktverkande el, positiva men begränsade [Elektronisk] http://www.vvsforum.se/nyheter/2011/december/effekterna-for-konverteringsstod-av-direktverkande-el-positiva-men-begransade/ (Hämtad: 2017-05-28)

[11] Warfvinge, C., Dahlblom, M., *Projektering av VVS- installationer* Studentlitteratur (2010) ISBN; 978-91-94-05561-9

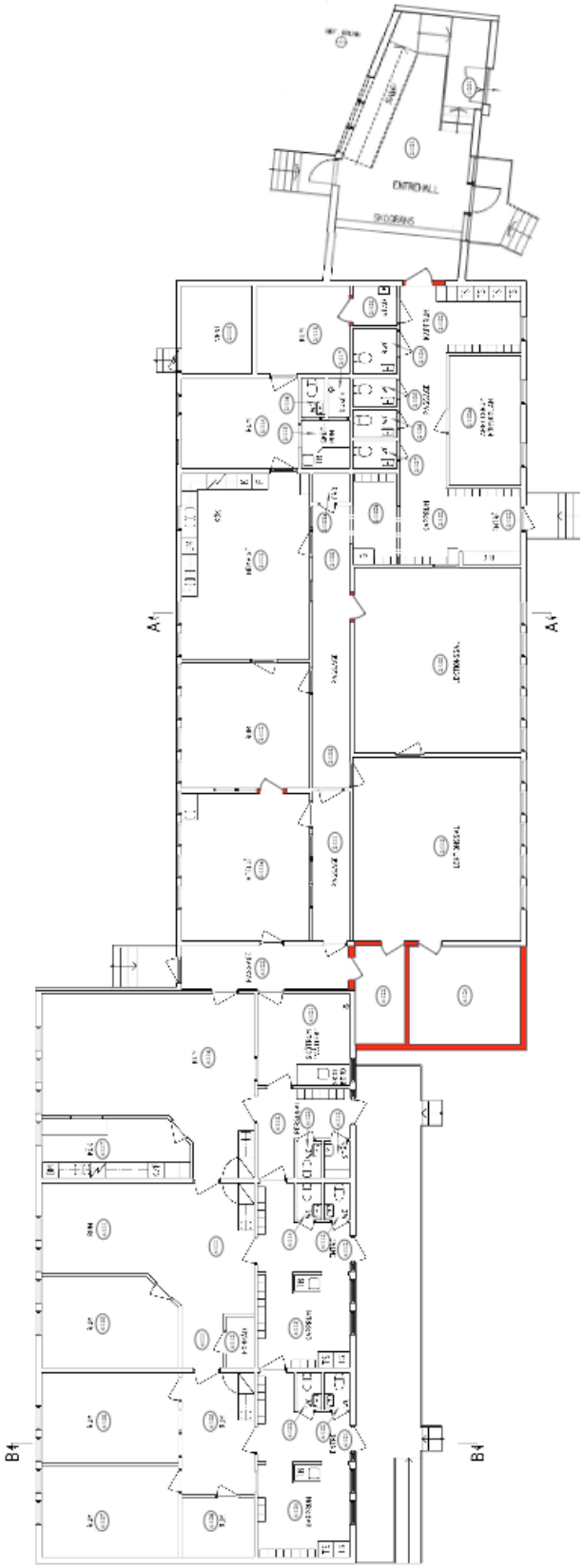
[23] Yik, F. W. H., Yee, K. F., Sat, P. S. K., & Chan, C. W. H. (1998) 'A detailed energy audit for a commercial office building in Hong Kong', HKIE Transactions, 5(3): 84-88

Bilaga 1 Ritningar

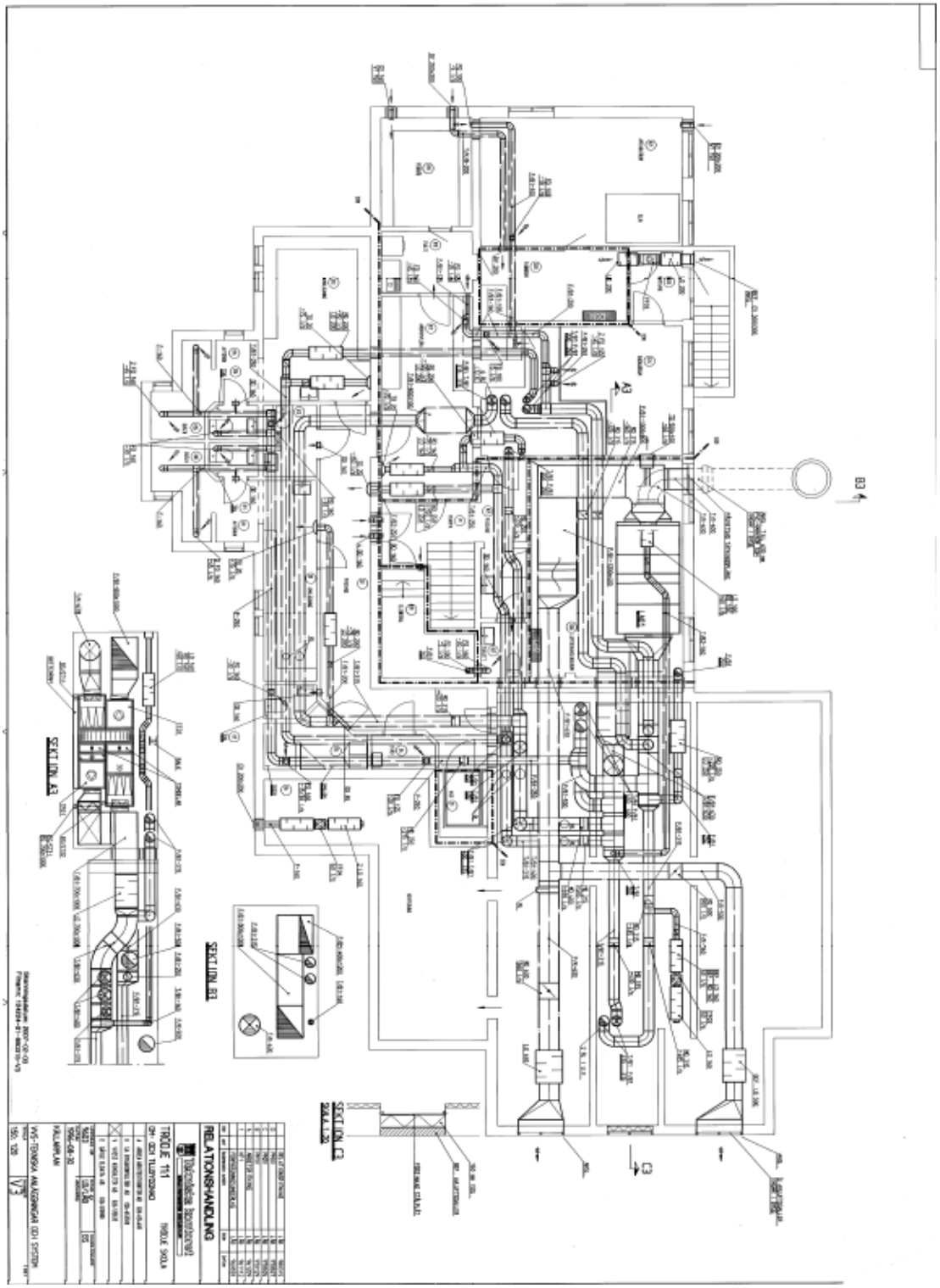
A-ritning huvudbyggnad



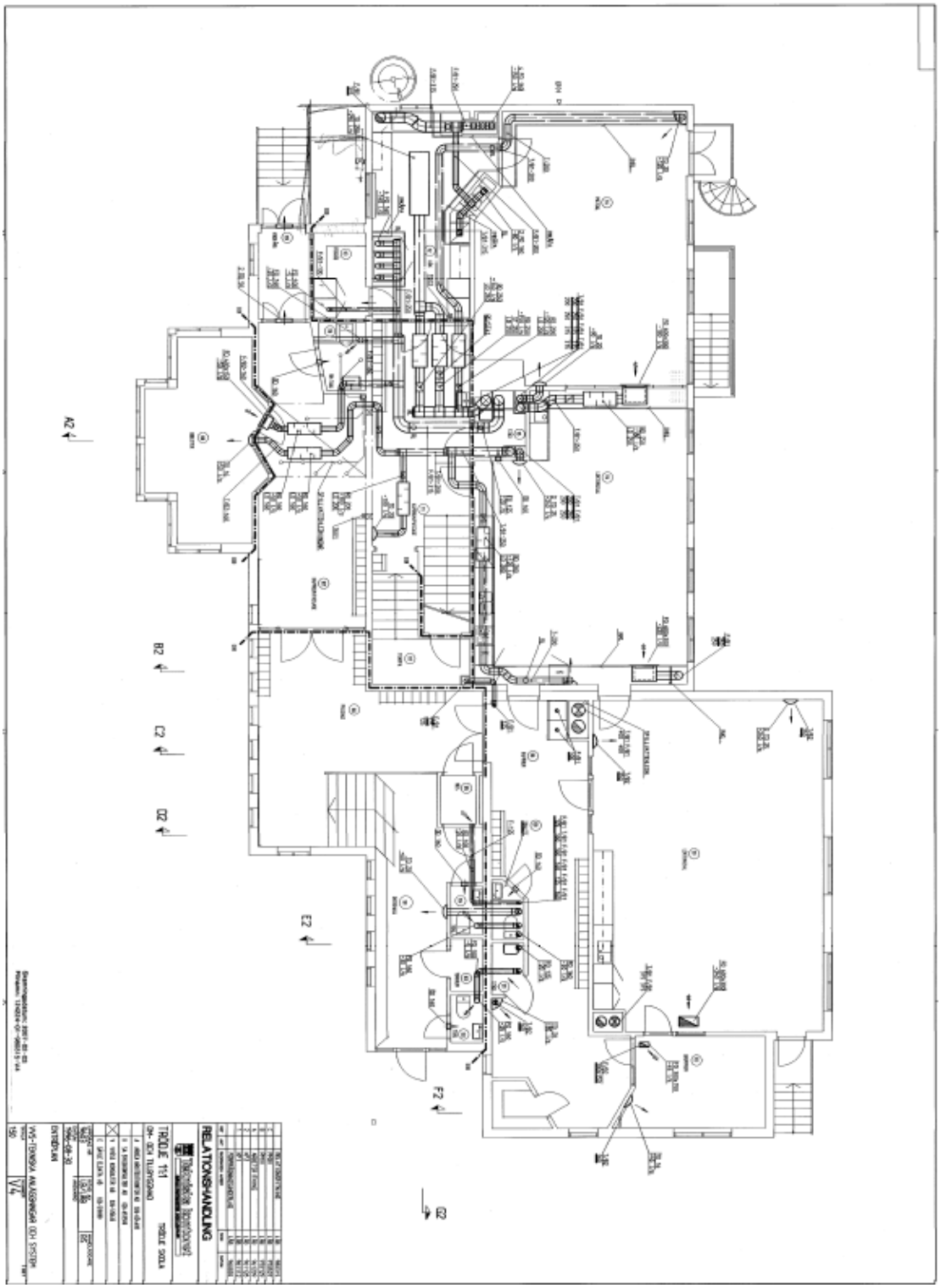
A-ritning paviljong



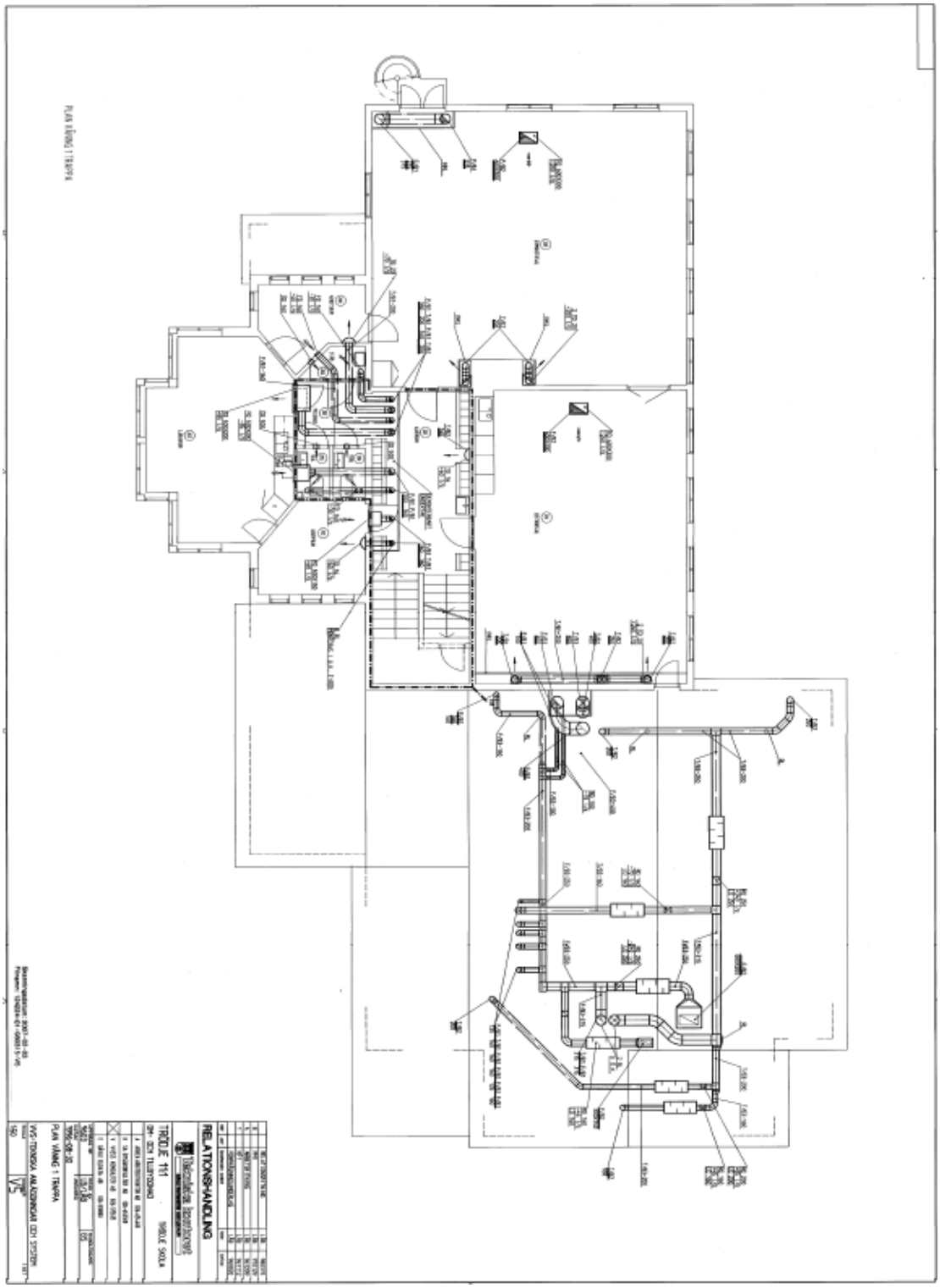
Ventilationsritning huvudbyggnad källarvåning



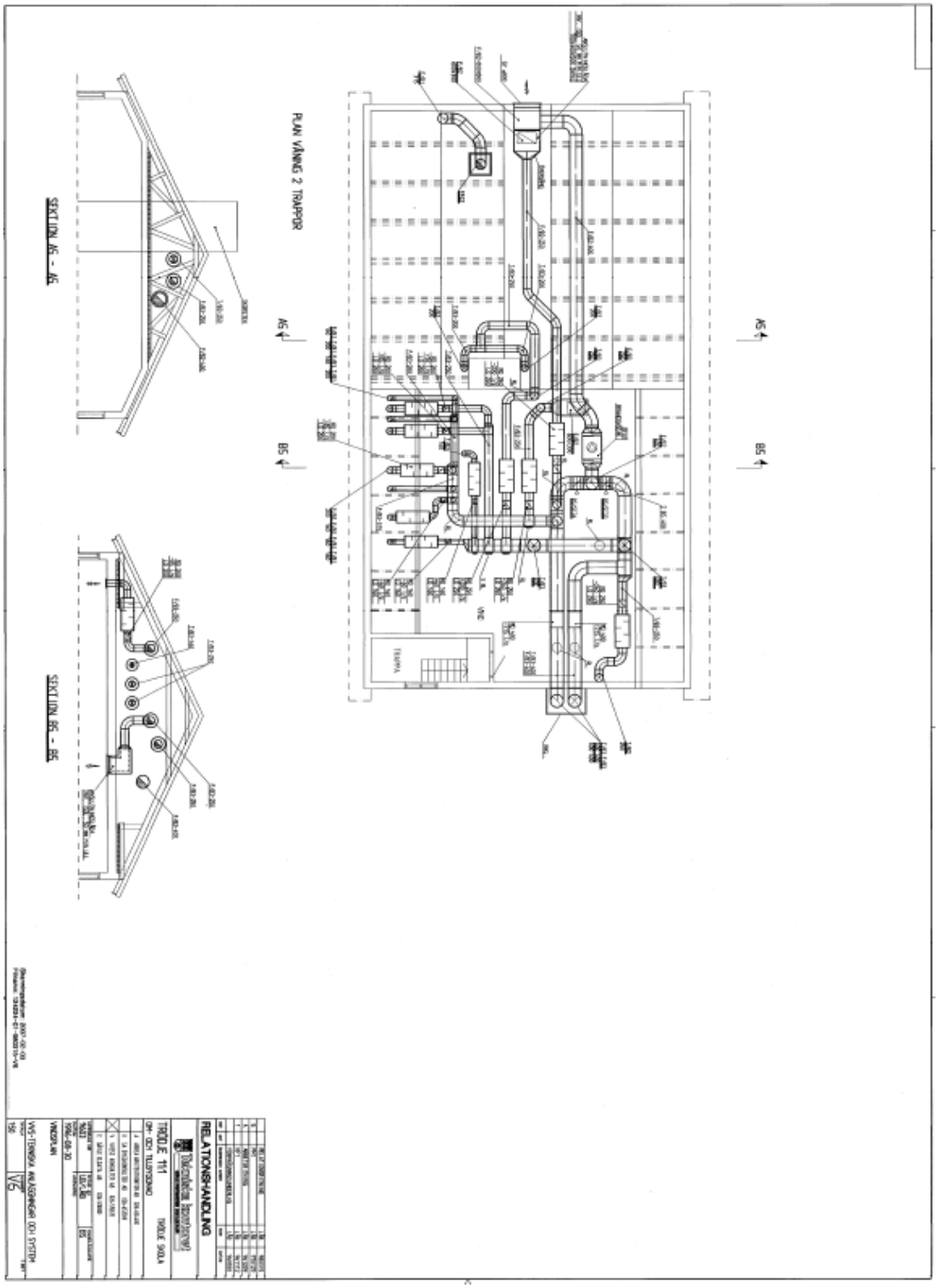
Ventilationsritning huvudbyggnad våning 1



Ventilationsritning huvudbyggnad våning 2



Ventilationsritning huvudbyggnad våning 3



Bilaga 2 Indata

Huvudbyggnad Källare

Rum	Belysn	LED	Uppvärm.	Tilluft l/s	Frånl. l/s	Int. massa
101 Passage	36	16				
102 Snickeri	368	168		+60	-45	
103 FRD	16	9			-5	0,23 m^3 betong
104 Arb.rum	322	154		+70	-45	
105 Tvätt	72	32			-25	
106 FRD	72	32			-5	
107 Pannrum	144	64				
108 UC	288	128			-10	
109 Passage	90	45				
109a Förrum	18	10				
110 WC	18	10			-30	
111 ELC	144	64			-5	
Trapp1	50	34				
112 Passage	196	96		+150		
112a Hiss						
113 RWC	34	19			-30	
114 OMKL	162	74		+75		
115 Dusch	48	27			-45	
116 WC	18	10			-30	
117 OMKL	162	74		+75		
118 Dusch	48	27			-45	
119 WC	18	10			-30	
120 OMKL	52	25			-15	
121 WC	18	10			-30	
122 Städ	36	16			-20	
125 Luftbeh.	288	128				
Krypgrund1						
Krypgrund2	360	160		+50 (FL)		
Krypgrund3					-50	

Huvudbyggnad våning 1

Rum	Belysning	LED	Uppvärm.	Tilluft	Frånluft	Int. massa
101 Entrehall	110	70				
201 Passage	36	18				
202 Kapprum	461	252				
203 RWC	34	19			-30 l/s	
204 Biblot	56	26		+50 l/s	-50 l/s	
206 Kök	252	116		+290 l/s	-370 l/s	
207 FRD	144	64			-5 l/s	
208 Matsal	164	86		+210 l/s	-180 l/s	
209 Lekt. Sal	192	98		+240 l/s	-220 l/s	
210 Städ	36	16			-20 l/s	
211 Lekt. Sal	800	364		+240 l/s	-240 l/s	
212 Gruppru	144	64		+45 l/s	-45 l/s	
213 Kapprum	152	80				
213b Gruppru	90	45		+85 l/s		
214 Städ	16	9			-20 l/s	
215 WC	18	10			-30 l/s	
216 Passage	265	129				
217 Entrehall	239	138		+60 l/s		
218 WC	18	10			-25 l/s	
219 Torkrum	36	16			-5 l/s	
220 WC	18	10			-30 l/s	
221 Hiss	36	16				
Trapp2	106	62				

Huvudbyggnad våning 2

Rum	Belysning	LED	Uppvärm.	Tilluft	Frånluft	Int. massa
301 Kapprum	116	62		+60 l/s		
302 Passage	18	9				
303 WC	18	10			-30 l/s	
304 WC	18	10			-30 l/s	
305 Gym.sal	1052	404		+200 l/s	-200 l/s	
306 Lärarrum	746	338		+240 l/s	-240 l/s	
307 Grupprum	144	64		+60 l/s	-60 l/s	
308 Lärarrum	74	36		+85 l/s	-85 l/s	
309 Arb.rum	144	64		+70 l/s	-40 l/s	
310 Städ	36	16			-30 l/s	
Kallvind	432	192				
Trapp3	85	49				

Huvudbyggnad vind

Rum	Belysning	LED	Uppvärm.	Tilluft	Frånluft	Int. massa
402 Vind1	504	192				
403 Vind2						

Paviljong 1998

RUM	Belysning	LED	Uppvär.	Tilluft	Frånluft	Int.massa
102a Kapprum	360	176		+45	-4	
102b Passage						
102c Kapprum				+44		
102d Arbetsrum	144	64		+48		
103 Städ	10	10				
104 RWC	10	10			-23	
105 WC	10	10			-17	
106 WC	10	10			-20	
107 WC	10	10			-22	
108a Passage	72	32			-7.5	
108b Förråd	40	40				
109 Lektionssal	692	300		+238	-258	
110 Lektionssal	548	236		+219	-194	
111a Ateljé	288	128		+225	-274	
111b Passage	144	64			-7.5	
112 Rum	224	104		+101	-119	
113 Hemvist	366	166		+130	-95	
114 Rum	144	64		+30?		
115 Skötrum	10	10				
116 WC	10	10			-22	
117 WC	10	10			-22	
118 Rum	24	24		+46	-48	
119 Ventilationsrum	72	40				
120 Grupprum	128	52		+20	-28	
121 Grupprum	128	52		+60	-48	
122 Passage	72	40		+3.5		

Paviljong 2004

Rum	Belysning	LED	Uppvärm.	Tilluft	Frånluft	Int. massa
101 Entre	56	26	800	+20 l/s		
102 WC	10	10	200		-20 l/s	
103 WC	10	10	200		-19 l/s	
104 Kapprum	216	96	800	+61 l/s	-39 l/s	
105 Rum	72	32		+49 l/s	-50 l/s	
106 Blöjrum	72	32	600	+30 l/s	-30 l/s	
107 Fikarum	216	96	1000	+60 l/s	-60 l/s	
108 Vilorum	144	64	1200	+60 l/s	-60 l/s	
109 Rum	168	78	800	+57 l/s	-59 l/s	
110 FRD	40	40			-15 l/s	
111 Rum	504	224	1400	+166 l/s	-140 l/s	
112 Entre	56	26	800	+18 l/s		
113 WC	10	10	200		-20 l/s	
114 WC	10	10	200		-20 l/s	
115 Kapprum	216	96	800	+60 l/s	-39 l/s	
116 Rum	360	160	1000	+165 l/s	-128 l/s	
117 Kök	216	96	600		-54 l/s	
118 Personal	108	48		+40 l/s		
119 Städ	10	10	200		-21 l/s	
120 WC	10	10	200		-21 l/s	
121 Skötrum	144	64		+50 l/s	-50 l/s	
122 Passage	72	40	200			