

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

- en studie av inneklimat och
energianvändning i skolor

Lisa Ahlquist Nordell
Ida Vestlund

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/5027



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

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 direktelvärmda 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.

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

- en studie av inneklimat och energianvändning i skolor

Lisa Ahlquist Nordell
Ida Vestlund



© *Lisa Ahlquist Nordell och Ida Vestlund*
ISRN LUTVDG/TVIT--11/5027--SE(158)

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

Sammanfattning

Skärpta energikrav och höjda energipriser stärker incitamenten till att bygga energieffektivt. Till följd av att medvetenheten om energianvändningens negativa miljöpåverkan ökar sker även en utveckling av energisnålare byggsystem, därav har passivhustekniken vuxit fram. I Sverige har utbredningen av passivhus hittills mestadels behandlat villor och flerbostadshus, men på sistone har även lokaler och offentliga byggnader börjat projekteras som passivhus.

Denna rapport behandlar skolor byggda med passivhusteknik med Emiliaskolan som fallstudie. Resultatet är förutom fallstudien baserat på en litteraturstudie, samtal med berörda partner i projektet samt diskussion med skolans framtida arbetsteam.

Examensarbetets syfte är att utvärdera inneklimat och behov av tillskottsvärme i skola byggd med passivhusteknik och där all värme och kyla tillförs med ventilationsluften. I arbetet ligger även att redogöra för hur energibehovet beror av verksamheten.

Arbetet skall också visa hur medvetenheten hos brukarna kan påverka energianvändningen och vilken information förvaltare behöver ge brukarna. Målet är även att belysa de installationstekniska lösningar som kan förbättras i skolor byggda med passivhusteknik.

Fallstudien av Emiliaskolan, som är projekterad som ett passivhus, styrker de utvärderingar som fastställts angående passivhusteknikens funktion i brukarskedet. En utvärdering har sammanställts utifrån studien av brukarnas inverkan på energianvändningen samt av de faktorer som påverkar rummens inneklimat.

I förvaltningsfasen beror energianvändningen av den verksamhet som bedrivs i byggnaden. Brukarnas inställning till och kunskap om energisparande åtgärder har stor inverkan på energianvändningen. Felaktiga vädringsvanor och skador på byggnadens ångspärr, vid exempelvis oförsiktighet vid inredningsmontering, har störst inverkan på energianvändningen under brukarskedet, enligt undersökningar som har gjorts i detta arbete. Energianvändningen påverkas dessutom kraftigt negativt vid försämrad temperaturverkningsgrad på värmeväxlaren och försämrad fläkteffektivitet, t ex på grund av ett otillräckligt underhåll. Byte till lågenergibelysning märks på byggnadens uppvärmning eftersom passivhus till stor del värms av interna värmelaster från personer, belysning och värmealstrade apparater. Detta ger en betydande ökning av den köpta energin. Däremot sker samtidigt en reducering av verksamhetselen. Beräkningarna är utförda genom energisimuleringsprogrammet VIP- Energy.

Vid analys av rummens termiska inneklimat har simuleringar utförts i tomma obelastade rum. Det är framför allt hörnrummen, med större andel ytterväggar än inneväggar och stor andel fönster som riskerar att bli kalla med en sänkning på upp

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

till 1,5°C efter att ha stått tomma en halvtimmes tid. Dessa rum kan alltså vara i behov av tillsatsvärme.

I passivhus är värmebehovet så litet att det kan distribueras genom ventilationssystemet, så är även fallet i fallstudien. Komplikationer uppstår när antingen under- och övertempererad tilluft ska kunna tillföras och ändå ge en god omblandning. Simuleringar med datorprogrammet FDS visar att temperaturen på den övertempererade tilluften vid takplacerade don, liksom ventilationsflödet, har en relativt liten inverkan på ventilationseffektivitet och temperaturgradient. Både 30°C tilluft med ett större luftflöde och 52°C och mindre luftflöde ger låg temperaturgradient. Det tar en bra stund för att temperaturen ska utjämnas i vertikalled när rummen ska värmas upp. Att spara energi genom att låta rumtemperaturen sjunka under natten och sedan höjas under de tidiga morgontimmarna just innan skolan startar är inte att rekommendera. För att det inte ska bli för kallt i rummen bör temperaturgivare inte placeras över vistelsezonen.

Titel: Passivhusteknikens funktion i brukarskedet - en studie av inneklimat och energianvändning i skolor
Författare: Lisa Ahlquist Nordell
Ida Vestlund
Handledare: Catarina Warfvinge
Bitr. handledare: Birgitta Nordquist

Nyckelord: Passivhus, Brukarbeteende, Energieffektivisering, VIP- Energy, Luftburen värme, Övertempererad tilluft, ProClim Web,
--

Abstract

The more stringent energy requirements and the increase in energy prices strengthen the incentives for building energy efficient. As a result of the awareness of the negative environmental effects there is a development in building systems with low energy consumption, and hence passive houses technologies have emerged. In Sweden, the prevalence of passive houses so far mostly dealt with houses and apartment buildings, but lately also facilities and public buildings has started to be planned as passive.

This report deals with schools built with passive technology and use object Emilia School as a case study. The result is in addition to case study based on a literature review, discussions with users and interested partners in the project and discussion with the school's future team.

The case study of Emilia School, which is projected as a passive house, certifying the assessments set on passive technology shapes in the user phase. An assessment has been compiled from the study of users' impact on energy use and the factors that affect the room's interior climate.

In the management phase of the building the energy consumption depends of the work in the building. Users' attitudes and knowledge about energy saving measures have in this position a major impact on energy use. Incorrect ventilation habits, and damage to the building's vapor barrier, at such carelessness in interior fitting, are the greatest impact on energy use when the building reaches user phase, according to the investigations that has been done in this work. Energy use also substantial affects negative by a deterioration in recovery rate of the heat exchanger and at reduced fan efficiency, which may be due to an inadequate maintenance. A switch to low energy lighting provides visible rash on the building's heating as passive largely heated by its internal heat loads, from people, lighting and heat generated appliances. However, simultaneously with a positive reduction in the electricity business. The calculations are performed by energy simulation program, VIP- Energy.

When evaluating the room's interior climate simulations have been performed by the thermal climate in empty rooms uncompressed. It is especially corner rooms, with exterior walls greater proportion than the inside walls and a large proportion of windows that are vulnerable to a noticeable drop in temperature, with a reduction of up to 1.5°C for half an hour. The study is based on simulations from ProClim Web and evaluate which rooms that are in need of additional heat.

A passive house should in the planning phase give the possibility to distribute heat to the rooms through the ventilation system, as is the case in the case study. Complications arise when ventilation will be working to both under-temperature and over temperature supply air as alignment is important for optimal mixing. Simulations by using the computer program FDS shows that the temperature at the outlets of the

over temperature at ceiling placed outlets, and supply air flow, have relatively little impact on the optimal mixing is and how the temperature gradient is vertically. 30°C supply air with a higher flow rate over 52°C with a lower flow rate, however gives a lower temperature gradient at the same height. The time required obtaining an acceptable temperature gradient and the mixing is long. Saving energy by let the temperature drop during the night and then performing a temperature increase during the early morning hours is not recommended. To ensure that the room temperature is not too low should the room temperature sensor be placed at the level of activity in the room.

This work aim is to provide an assessment of passive technologies function in school buildings. The aim is also to explain how energy, is due to the operations conducted in the building, as well as evaluating the indoor climate in a passive building heated with hot air. By the results the expectation it is to clarify the relation between users' behavior and the building's energy use. The aim is also to report on the quality of the thermal and hygienic indoor climate in the passive house where the heat is supplied by hot air.

The work should for upcoming project serve as an example of how the awareness of consumers can affect energy use, and to inform managers about the most pressing information to customers. The aim is also to highlight the installation techniques that can be improved in schools built with passive techniques.

Hopefully the work also becomes a model for future construction projects by illustrating and verifying the relationship between conscious users, and improved indoor climate and energy.

Title: Passive technology in use phase - a study of indoor climate and energy use in schools
Author: Lisa Ahlquist Nordell
Ida Vestlund
Supervisor: Catarina Warfvinge
Asst supervisor: Birgitta Nordquist

<p>Keywords: Passive, User Behavior, Energy Efficiency, VIP Energy, Airborne heat, Over Heated air supply, ProClim Web,</p>
--

Förord

Detta examensarbete inom passivhusteknik har utförts under hösten 2010 på Institutionen för Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola. Uppdragsgivare är Bengt Dahlgren AB i Malmö handledt av Catarina Warfvinge, Energi- och miljöchef på Bengt Dahlgren och Universitetslektor på LTH.

Under arbetets gång har vi kommit i kontakt med flera berörda parter som hjälpt oss att komma framåt i arbetet genom att bidra med kunskap och idéer. Först vill vi rikta ett stort tack till vår handledare Catarina Warfvinge som inspirerat oss i ämnet energi och introducerat oss för passivhusteknik. Catarina har också varit ett viktigt bollplank samt stöttat oss i vårt arbete. Vi vill även tacka Birgitta Nordquist och Mats Dahlblom på Installationsavdelningen för era synpunkter och ert vägledande. Tack också till Rolf Abrahamsson och Tomas Ellkvist på MVB för ert trevliga mottagande och lärorika studiebesök på platsbygget av Emiliaskolan.

Ett stort tack vill vi ge till Cedrik Persson på Bengt Dahlgren för all tid du har lagt på att introducera oss för FDS och för den hjälp du har gett oss i arbetet. Tusen tack också till Thomas Ranstorp på Bengt Dahlgren som med erfarenhet bidragit med viktiga synvinklar och intressanta diskussioner samt analyser.

Slutligen vill vi rikta ett stort tack till all personal på Bengt Dahlgrens kontor i Malmö för ett varmt välkomnande och en trevlig tid hos er.

Lund, januari 2011

Lisa Ahlquist Nordell & Ida Vestlund

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

Innehållsförteckning

Introduktion	1
<u>1 Inledning</u>	<u>3</u>
1.1 Problembeskrivning	6
1.2 Arbetets avsikt	7
1.2.1 Syfte	7
1.2.2 Frågeformuleringar	7
1.2.3 Målsättning	7
1.2.4 Målgrupp	8
1.3 Avgränsningar	8
1.4 Metodik	8
1.4.1 Arbetsgång	8
1.4.2 Informationsinsamling	9
1.4.3 Analysverktyg	10
1.4.4 Validitet	10
1.5 Disposition	10
Teori	13
<u>2 Inneklimat</u>	<u>15</u>
2.1 Begrepp	16
2.2 Termisk komfort	16
2.2.1 Temperaturbegrepp	17
2.3 Hygieniska klimatkrav	18
<u>3 Regler om inneklimat</u>	<u>19</u>
3.1 Termiska krav	19
3.2 Hygieniska krav	20
<u>4 Ventilation</u>	<u>23</u>
4.1 Ventilationssystem i skolor	23
4.2 Donplacering i FTX- system	24
4.2.1 Omblandande ventilation	24
4.2.2 Deplacerande ventilation	25
4.2.3 Placering av till- och frånluftsdon	26
4.2.4 Komponenter i luftbehandlingsaggregatet	26
4.2.5 Kanalsystemets utformning	27
<u>5 Värme</u>	<u>29</u>
5.1 Värmesystem genom tiderna	29

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

5.2	Värmedistributionssystem	30
5.3	Varmluftssystem	31
5.4	Komplikationer med luftburen värme	32
5.5	Värmebehov	33
5.6	Värmeeffektbalans	33
5.6.1	Dimensionerande temperaturer	33
<u>6</u>	<u>Passivhus</u>	<u>37</u>
6.1	Vad är passivhus?	37
6.1.1	FEBY - Forum för energieffektiva byggnader	37
6.1.2	Kravspecifikation för passivhus enligt FEBY	38
6.1.3	Boverkets krav på värmeeffektbehov	39
6.1.4	Boverkets krav på värmeenergibehov	39
6.1.5	Certifiering och Verifiering enligt FEBY	40
6.2	Passivhusteknikens historia	40
6.3	Passivhusets utbredning och utveckling	42
6.4	Varför passivhus?	44
6.5	EU-direktiv om passivhus	45
6.6	Mervärde av Passivhus i driftskede	45
6.7	Skola som passivhus	45
6.8	Husets klimatskal och utformning	46
6.9	Installationer	46
6.10	Besparingar genom passivhus	47
<u>7</u>	<u>Brukare och energianvändning</u>	<u>49</u>
7.1	Energiposter	49
7.2	Dokumenterade samband mellan brukare och skolors energianvändning	50
	<u>Analys</u>	<u>55</u>
<u>8</u>	<u>Emiliaskolan</u>	<u>57</u>
8.1	Byggnads- och verksamhetsbeskrivning	57
8.1.1	Reggio Emilia – pedagogiken	59
8.1.2	Byggnadsteknik	59
8.2	Installationstekniska system	60
8.2.1	Uppvärmning	60
8.2.2	Komfortkyla	60
8.2.3	Ventilationssystemet i Emiliaskolan	60
8.2.4	Belysning	62

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

8.2.5	Varmvatten	62
8.3	Driftfall	62
8.3.1	Styr- och reglerprincip under sommaren	62
8.3.2	Styr- och reglerprincip under vintertid	63
8.4	Emiliaskolans tilluftsdon	64
8.4.1	Placering och utformning	64
8.4.2	Energi och ekonomi	65
8.4.3	Dimensionering	65
8.4.4	Aktiva tilluftsdon	66
8.5	Ventilation med övertempererad tilluft	66
<u>9</u>	<u>Resultat från möte med lärarna</u>	<u>69</u>
<u>Beräkningar & Resultat</u>		<u>73</u>
<u>10</u>	<u>Analys</u>	<u>75</u>
10.1	Problemformulering	75
10.2	Analys av effektbehov	75
10.2.1	Beräkning av dimensionerande utetemperatur enligt FEBY	77
10.2.2	Emiliaskolans effektbehov jfr med FEBY: s krav	78
10.2.3	Beräkning av värmeeffektbehovet som vid VVS-projektering	78
10.3	Analys av temperaturfall i tomma rum	80
10.3.1	Metod	80
10.3.2	Beräkning av riktad operativ temperatur	81
10.3.3	Resultat	82
10.4	Analys av tillförsel av övertempererad tilluft	86
10.4.1	Metod	87
10.4.2	Resultat	88
10.5	Analys av energianvändning	97
10.5.1	VIP- Energy i korthet	97
10.5.2	Problembeskrivning	98
10.5.3	Resultat	100
<u>11</u>	<u>Sammanställning och diskussion av analysens resultat</u>	<u>113</u>
11.1	Värmeeffektbehov	113
11.2	Temperaturkänslighet	113
11.3	Tillförsel av övertempererad tilluft	114
11.4	Energianvändning	115
11.5	Diskussion	115
11.5.1	Energianvändning och inneklimat kopplat till brukarbeteende	115
11.5.2	Brukare och energianvändning	116

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

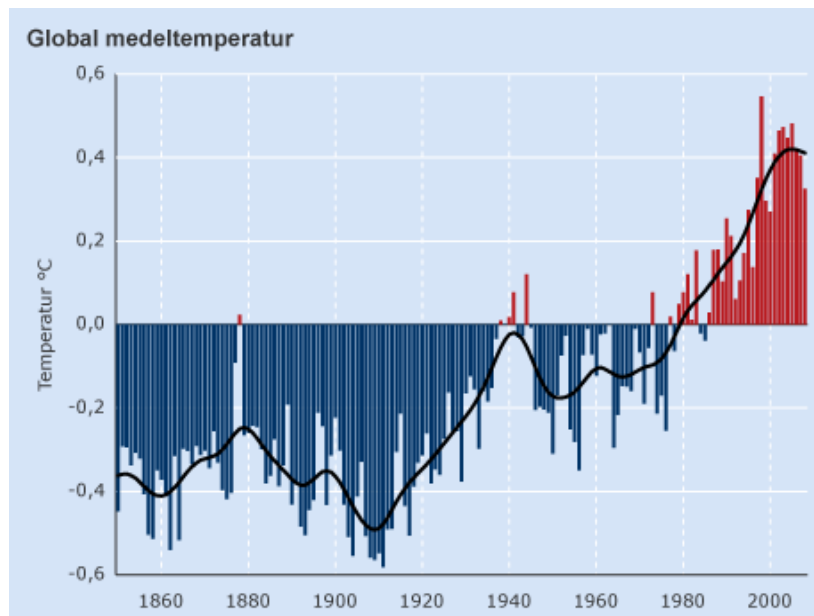
11.5.3	Funktionskrav v.s. Komponentkrav	118
11.5.4	Inneklimat	118
<u>12</u>	<u>Referenslista</u>	<u>120</u>
	<u>Bilagor</u>	<u>125</u>
	<u>Bilaga 1, Vädring i skolor</u>	<u>127</u>
	<u>Bilaga 2, Beräkning av tidskonstant nattid</u>	<u>129</u>
	<u>Bilaga 3, Beräkning av tidskonstant, dagtid</u>	<u>133</u>
	<u>Bilaga 4, Beräkning av effektbehov</u>	<u>137</u>
	<u>Bilaga 5, Indata ProClim Web</u>	<u>141</u>
	<u>Bilaga 6, Indata VIP- Energy</u>	<u>142</u>

Introduktion

1 Inledning

*En varmare värld*¹

Sedan början av 1900-talet har medeltemperaturen på jorden stigit med 0,7 grader och det sista decenniet har varit betydligt varmare än genomsnittet under 1990. Vissa delar av jorden har drabbats mer av uppvärmningen än andra och det finns delar som inte alls har påverkats. Mängden nederbörd har också ändrats i världen, somliga delar har drabbats av ökad nederbörd och andra delar av torka. Sveriges klimat har haft en utveckling mot högre temperaturer och mer nederbörd. *Figur 1* nedan visar avvikelserna från medeltemperaturen för perioden 1961-1990. I figuren visas även en svart kurva som motsvarar det tioåriga medelvärdet.



Figur 1; Avvikelsen från medeltemperaturen för perioden 1961 - 1990. Röda staplar visar högre och blå staplar visar lägre temperaturer än medelvärdet. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp ungefär motsvarande tio-åriga medelvärden. Källa: Climatic Research Unit, University of East Anglia.(2010-11-12).

Den globala uppvärmningen har orsakat en förhöjd vattennivå i världshaven. Nivåhöjningen beror till största del av att havet expanderar när vattnet blir varmare. Dessutom tillkommer ett vattentillskott från issmältningar vid glaciärer. En höjd havsnivå ger en ökad kusterosion i Skåne och i kombination med stormar, ökar risken för översvämningar vid de södra kuststäderna. Effekterna av uppvärmningen kommer att inverka på hela samhället och ekosystemet. Årsmedeltemperaturen i Sverige spås öka med 3-5°C fram till 2080-talet jämfört med 1961-1990. Års- och

¹ Naturvårdverket; Så förändras klimatet (2010-11-12)

decenniumsvariationerna i nederbörd antas variera mer än temperaturen i framtiden. I Sverige finns en ökad risk för att översvämningar blir intensivare och att antalet regnfall blir fler. Under sommaren kan även torka och vattenbrist förekomma i de södra delarna av landet. Temperaturzonerna förflyttas norrut; Norrlands klimat kan komma att liknas dagens skånska klimat och Sydsveriges klimat kan bli likt det tyska.

Med det mildare klimatet förbättras odlingsförutsättningarna men kan även riskera att skadeorganismer och smittbärare blir vanligare i Sverige. Djur- och växtlivet i de svenska fjällen och i Östersjön bedöms särskilt känsliga för klimatförändringen.

Det är många länder som tros komma att drabbas värre av klimatförändringar än vad Sverige spås göra. De negativa följderna antas komma att överväga de positiva sett ur ett globalt perspektiv. Sverige kommer då även att drabbas av de negativa effekterna eftersom det inte går att avskilja ett land från omvärldens klimatproblem.

Energianvändning

Fossila bränslen utgjorde år 2008 ca 80% av världens totala energitillförsel. Störst var användningen av olja, följt av kol och naturgas. Förnybar energi motsvarar ca 13% av tillförseln och de resterande kommer från kärnkraft. I Sverige stod fossila bränslen för 38% av energitillförseln, 32% av förnybar energi och de resterande 30% från kärnkraft under samma år.²

Energianvändningen kan delas upp i tre sektorer; industri, transporter samt bostäder och service. I Sverige var energianvändningen i sektorn bostäder och service 141 TWh år 2008, vilket står för 36% av Sveriges totala slutliga energianvändning. 86% av de 141 TWh går till energianvändning i bostäder och lokaler. I Energiläget 2009 redovisar energimyndighet att uppvärmning och varmvatten utgör 61% av energianvändningen.²

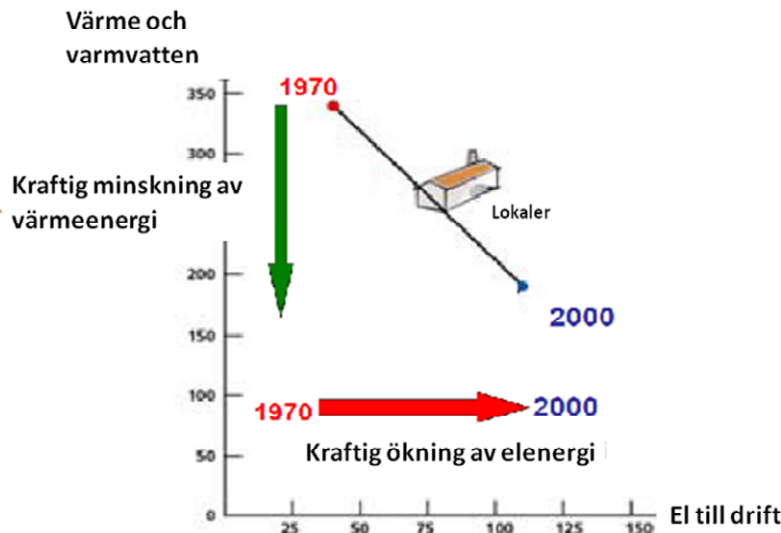
Elanvändningen har ökat i bostads- och servicesektorn från ca 25 TWh till över 70 TWh sedan 1970-talet. Från 1990-talets början har elanvändningen dock hållits på en stabil nivå. Skolor använder idag 25% av elen till belysning och 25% till ventilation. För att göra bedömningen har lokaler som kontor, skolor, vårdlokaler och idrottsanläggningar inventeras och det material som energimyndighetens studie STIL2 baseras på. Potentialen för att effektivisera energianvändningen i de inventerade lokalerna bedöms vara upp till 30% av den totala elanvändningen.²

Figur 2 nedan visar grovt utvecklingen av energianvändningen i lokalbyggnader från 1970 till 2000. Det som kan avläsas i figuren är att värmeenergin har minskat sedan 1970, vilket beror på att byggnaders konstruktionslösningar och utförande har blivit allt bättre ur energisynpunkt. Samtidigt har det dock skett en ökning av elenergi, vilket beror på den ökade användningen av elektronik och hushållsapparater. Fler

² Statens energimyndighet, Energiläget 2009 (2009)

tekniska apparater i byggnaderna ger även internvärme som är ett tillskott till uppvärmningen.³

Utveckling av energianvändning 1970 – 2000 i lokalbyggnader



Figur 2; Utveckling av energianvändning i lokalbyggnader Källa: C. Warfvinge, föreläsning i Energiberäkning, Installationsteknik. (2010-03-18)

Klimatpolitik⁴

Mängden växthusgaser i atmosfären avgör klimatutvecklingen, därför finns ett stort behov av ett internationellt arbete för att minska utsläppen. FN:s klimatkonvention har som mål att stabilisera nivån av växthusgaser till den nivå som klimatet inte påverkas negativt av människans påverkan. Världens länder försöker idag enas om ett nytt globalt klimatavtal från det gällande Kyotoprotokollet.

1996 tog EU fram förslaget att begränsa den globala uppvärmningen till högst två grader över den förindustriella nivån inför Kyotoförhandlingarna. För att nå målen måste utsläppen minska med 20% senast 2020 och halveras innan 2050, jämfört med 1990 års nivå. EU har tagit beslut om att EU:s medlemsländer ska minska sina utsläpp med 20% till 2020 i jämförelse med 1990 års siffror.

Sverige styr sin klimatpolitik dels med de styrmedel som är gemensamma för hela EU och dels med nationella styrmedel från regeringen och riksdagen. Riksdagen beslutade 2009 om att de svenska utsläppen av växthusgaser ska minska med 40% tills 2020 jämfört med 1990. Riksdagen har beslutat om handlingsplaner för att nå en fossiloberoende transportsektor, främja förnybar energi och skapa förutsättningar för

³ C. Warfvinge, föreläsning i Energiberäkning. Installationsteknik (2010-03-18)

⁴ Naturvårdverket. Så förändras klimatet (2010-11-12)

ytterligare energieffektiviseringar. Regeringen föreslår dessutom att halva Sveriges energianvändning ska komma från förnybara energikällor 2020. Samma år ska även energianvändningen vara 20% effektivare.

Byggnadsrelaterade allergier

Allergier och annan överkänslighet har ökat i antal de senaste årtiondena. Ett av tre svenska barn har idag eller har haft någon form av allergi. Risken för att allergier uppstår är störst under barnåren. Det är därför viktigt med ett friskt inneklimat i skolor, daghem och andra miljöer där barn vistas.⁵

I strävan efter att nå de utsagda energimålen och för att skära ner på uppvärmningskostnader byggs idag fler och fler energieffektiva hus. Forskare från DTU, Danmarks tekniska universitet, undersöker nu risken för att besvären delvis kan orsakas av de allt tätare husen, genom att byggnaderna riskerar att ha ett sämre inneklimat.⁶

1.1 Problembeskrivning

Allt eftersom energipolitiken skärps och energipriset stiger, ökar efterfrågan på byggnader med hög energieffektivitet. I utvecklingen har flera modeller av lågenergibygnader tagits fram, ett av begreppen som används är passivhus. I dagsläget är de flesta passivhus flerbostadshus, villor och radhus. Men även lokaler börjar byggas med passivhusteknik. Strävan efter energieffektiva byggnader får dock inte påverka inneklimatet i byggnaden negativt. Följande arbete utvärderas energianvändningen och inneklimatet i passivhus. I rapporten kommer framför allt skolor byggda med tekniken att utvärderas.

Passivhus värms till stor del upp av internt genererad värme, alltså personer, belysning, elapparater och solstrålning. Ändras användningen kommer detta att inverka på inneklimatet och behovet av köpt energi.

Brukarna har stor betydelse för energianvändningen och genom att ge dem information om hur och vilka konsekvenser deras beteende har blir det möjligt för dem att bidra till att hålla nere behovet av köpt energi.

Tanken är att värmebehovet i passivhus ska vara så lågt att när värme behövs kan det distribueras med ventilationsluften. Det är viktigt med en genomtänkt placering av tilluftsdonen för att luftkvaliteten ska bli bra och inneklimatet komfortabelt.

⁵ EFFEKTIV, samverkan för effektiv och miljövänlig energianvändning i bostäder och skolor. (2010-11-22)

⁶ Ny teknik. (2010-11-19)

1.2 Arbetets avsikt

I arbetet kommer energibehovet och inneklimatet i passivhus granskas. Fokus kommer att ligga på skolbyggnader.

1.2.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att göra en utvärdering av en skola med passivhusteknik.

1.2.2 Frågeformuleringar

Arbetet kan sammanfattas med att undersöka:

- Vad inverkar mest på energianvändning i en passivhusskola?
- Hur blir inneklimatet i olika delar av skolan när uppvärmning sker med övertempererad tilluft?
- Hur värmetröga är passivhus, dvs hur stort är egentligen värmeeffektbehovet?

Frågeställningen kommer att besvaras genom litteraturstudie, analys av passivhusskolan Emiliaskolan samt diskussion med skolans kommande brukare. Emiliaskolan är i skrivande stund i produktionsskedet och kommer att stå klar under våren 2011 i Häljarp som tillhör Landskrona kommun. Den har lanserats som Sveriges första passivhusskola och därmed den mest energieffektivaste skolan i Sverige.

1.2.3 Målsättning

Målet är att undersöka eventuella samband mellan brukarnas beteende och byggnadens energianvändning. Därigenom kan rekommendationer ges till förvaltare om hur en passivhusskola bäst bör förvaltas ur energisynpunkt samt vilken information som brukarna bör upplysas om. Arbetet ska för efterkommande projekt vara ett exempel på hur medvetenheten hos brukarna kan inverka på energianvändningen.

Målet är även att redogöra för kvaliteten på det termiska och hygieniska inneklimatet i passivhusskolor där värmen tillförs med ventilationsluften. I framtiden kan arbetet användas för att förbättra den installationstekniska lösningen för skolor som kommer att byggas med passivhusteknik.

Rapporten ska dessutom ge oss examensarbetare spetskompetens inom området byggnadsfysik, installationsteknik och energi, då arbetet utförs i utbildningens slutskede.

1.2.4 Målgrupp

Detta examensarbete riktar sig till privatpersoner, organisationer och företag med intresse för passivhusteknik och energieffektiviseringsfrågor samt brukarbeteende. Arbetets slutsats utgår dels ifrån en specifik skola och dess specifika installationssystem och riktar sig därför även direkt till skolans personal och elever som är intresserade av byggnadens koncept, funktion och hur funktionen påverkas av brukarna.

Informationen ges över lag på en relativt grundläggande nivå. Dock kan grundläggande kunskap i installationsteknik erfordras för att förstå vissa tekniska beskrivningar och resonemang. I *kapitel 1.5, Disposition* görs en kort beskrivning av kapitlens innehåll och målgrupp.

1.3 Avgränsningar

Inneklimatet ser till termiska och hygieniska aspekter. Ljud och akustik kommer inte beröras i arbetet.

Lönsamhetsberäkningar ingår inte i arbetet eftersom arbetet tyngdpunkt ligger i att tillgodose bästa inomhuskomfort till brukarna.

Utvärdering av inneklimatet fokuserar på uppvärmningssäsongen. Inga simuleringar har gjorts för att kontrollera inneklimatet sommartid.

Ett av examensarbetets syften är att utvärdera vilken information som är bäst lämpad att informera brukarna om, dvs. där de själva kan inverka mest på energianvändningen. Valet av metod att sprida informationen eller hur den på bästa sätt når ut till målgruppen ingår inte i examensarbetet.

1.4 Metodik

Följande kapitel beskriver hur arbetet har lett fram till ett resultat. Hur och vilken information som har varit av intresse samt varifrån den har samlats in. Vilka verktyg som har använts under arbetet för att åstadkomma ett resultat, hur trovärdiga resultaten är samt en disposition av rapporten med rekommendationer av kapitel beroende på målgrupp.

1.4.1 Arbetsgång

I startskedet gjordes först en genomgång av skolans ritningar och handlingar för att förstå skolans komplexitet och funktion. Därefter läste vi in oss på passivhusteknik och mer ingående på skolans installationer och dess funktion.

Efter ungefär halva tiden av vårt examensarbete höll vi en presentation för lärarteamet som ska arbeta i den nya skolan. Presentationen inleddes med att med pedagogerna enskilt fick besvara några frågor kring den nya skolan, energieffektivisering och arbetsmetoder. Därefter informerade vi om hur Emiliaskolan är tänkt att fungera, centrala begrepp och definitioner inom ämnet inneklimate och installationssystem samt om lagar, regler och vår roll som examensarbetare. Presentationen övergick flertals gånger till en öppen dialog med samtliga i rummet, som var väl önskat. Avsikten med mötet var att kartlägga pedagogernas kunskap, funderingar, åsikter samt om det finns ett intresse till att arbeta med en undervisning som återkopplar till skolans centrala energikoncept. En utvärdering av pedagogernas svar från enkäterna visas i *kapitel 9, Resultat från möte med lärarna*.

Med kännedom om skolans uppbyggnad, hur den är tänkt att brukas, krav utifrån lagar, regler och ramhandlingar samt driftstider av installationer genomfördes effektberäkningar och datorsimuleringar av energi och inneklimate. Ramhandlingarna utgår från FEBY: s definition för passivhus.

Utifrån analys av resultat ifrån beräkningar kunde därefter paralleller dras och därifrån utforma specifika förslag på tips och råd till brukarna för att erhålla ett bra inneklimate med en låg energianvändning.

1.4.2 Informationsinsamling

Källhänvisningen till den information som används i arbetet har hämtats från en rad olika källor. Information om skolbyggnad och drift har hämtats från ramhandlingar. Installationsmässig information kommer från aktuell leverantör.

Utifrån samråd och diskussion med Emiliaskolans rektor och lärare har upplysning om elevers brukarbeteende kartlagts samt viktig information om deras nuvarande kunskap om passivhusteknik och energieffektivisering insamlats.

Kontroll av tidigare energiberäkningar, samt andra energi- och effektberäkningar med ändrade förutsättningar har utförts. Klimatberäkningar vid olika driftfall är helt och hållet utförda av oss examensarbetare och har indata som bygger på jämförelser med liknande beräkningar, antaganden, krav utifrån lagar, regler och ramhandlingar.

Allmän information om energiläget, installationsteknik, besparingsmetoder har hämtats från litteratur, Internet, tidigare examensarbeten och avhandlingar.

Under arbetets gång har vi själva även deltagit i studiebesök på arbetsplatsen och hos leverantörer av ventilationsdonen. Vi har även besökt skolan och haft en genomgång av skolans funktion och diskuterat frågor kring utförandet.

1.4.3 Analysverktyg

Analys av inneklimatet och energianvändningen genomförs med datorverktyg VIP-Energy, ProClim Web, Teknosim, kompletterat med handberäkningar av effektbehov. Simuleringsprogrammet FDS (Fire Dynamics Simulator) används för energi- och temperaturberäkningar. Vidare information om programmen fås i *kapitel 10, Analys*.

Nödvändiga uppgifter om Emiliaskolan är hämtade från ritningar och beskrivningar från systemhandlingar. Alla uppgifter som har använts och som på något vis varit tvivelaktig har analyserats med avseende på noggrannhetsnivå.

1.4.4 Validitet

Indata vid teoretiska beräkningar och i datorsimuleringsprogram är hämtade från regler och lagar, schablonvärden, samt krav och önskade värden i ramhandlingen. Antaganden har gjorts där uppgifter eller mätdata saknats. Vid simuleringar av olika driftfall har även antaganden använts. Samtliga antaganden redovisas och motiveras i dess samband. All data och information som har använts och som på något vis varit tvivelaktig har noga analyserats för dess tillförlitlighet i sambandet.

1.5 Disposition

Arbetet är uppdelat i fyra delar; Introduktion; kapitel 1, Teori; kapitel 2-7, Analys; 8-9 samt Beräkningar och Resultat 10-11;

Kapitel 1, Inledning: Här förklaras arbetets syfte, mål och frågeformulering. Kapitlet inleds med bakgrund till det ökade intresset för energi och inneklimat.

Kapitel 2, Inneklimat: Kapitlet begränsas till hygieniskt och termiskt klimat och beskriver temperaturkomfort, temperaturmätning, luftföroreningar.

Kapitel 3, Regler om inneklimat: Krav vad gäller termiskt och hygieniskt inneklimat från Boverket, Arbetsmiljöverket och Socialstyrelsen.

Kapitel 4, Ventilation: Ventilationssystem för skolor, donplacering och konsekvenser på ventilationseffektivitet.

Kapitel 5, Värme: Kapitlet behandlar olika system för distribution av värme och problem och möjligheter med luftburen värme.

Kapitel 6, Passivhus: Beskriver passivhusteknik, dess bakgrund och utbredning i Sverige, kravspecifikationen enligt FEBY (Forum för energieffektiva byggnader) och en jämförelse mot BBR:s energikrav.

Kapitel 7, *Brukare och energianvändning:* Kapitlet förklarar posterna i en byggnads energibalans och sambandet mellan energianvändning och brukarnas medvetenhet.

Kapitel 8, *Emiliaskolan:* Analyser av Emiliaskolan som är byggd enligt passivhusprinciperna med bland annat varmluft för uppvärmning. Beskrivning av byggnadsteniska och installationstekniska system, verksamhet, några driftfall under året och under dygnet.

Kapitel 9, *Resultat från möte med lärarna:* Pedagogerna i Emiliaskolans har fått tillfälle att diskutera innebörden av att arbeta och undervisa i en passivhusskola. I kapitlet redovisas och diskuteras deras inställning till passivhus och energi- och miljömedvetenhet.

Kapitel 10, *Analys:* Här förklaras beräkningsverktygen, frågeställningen, simuleringsfallen och resultat.

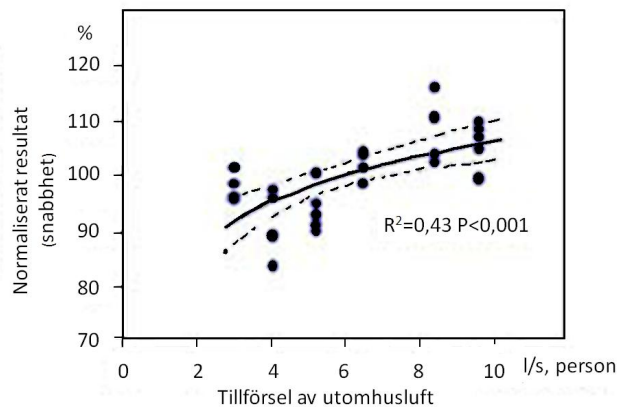
Kapitel 11, *Sammanställning och diskussion av analysresultat:* Utifrån analysens resultat och slutsatser diskuteras rimlighet, relevans och praktisk användning av arbetet. Kapitlet bör läsas av samtliga personer för att erhålla en utvärdering av resultatet.

Teori

2 Inneklimat

Följande kapitel behandlar hur människan upplever och påverkas av inneklimatet.

Vi spenderar ca 90 % av vår tid inomhus, det sätter höga krav på innemiljön.⁷ Studier som gjorts vid Danmarks Tekniska Universitet, DTU, utförda av Wyon och Wargocki, 2006 visar hur mängden tillförd utomhusluft påverkar prestationsnivån hos skolbarn. I *figur 3* nedan, visas ändringen i prestationsnivå hos skolbarn beroende av tillgången till utomhusluft. Skolbarnen i åldern 10 - 12 år fick åtta uppgifter att lösa, inom bland annat matematik och läsning. Vid en fördubbling av utomhusflödet förbättras prestationen med ca 8 - 14 %.⁸



Figur 3; Prestationsförmågans påverkan av tillgång till utomhusluft hos 10-12 åriga skolbarn. Källa: B. Nordquist. Föreläsning i Inneklimat och funktion, Byggnadsfysik och klimatsystem, (2009-03-25)

En låg energianvändning är inte svår att uppnå, men försvåras av att samtidigt uppnå ett bra inneklimat. Byggnadens installationer har som viktigaste uppgift att bidra till ett komfortabelt och hälsosamt inneklimat. De ska fungera på ett säkert sätt och inneklimatet som de skapar ska inte bero för mycket av det klimat som råder utomhus. Det ska heller inte variera för mycket om de interna förutsättningarna ändras, som t ex att personlasten kraftigt ökar.

Den klimatmässiga upplevelsen kan delas upp i termiska, hygieniska, ljusmässiga och ljudmässiga. I denna rapport behandlas de termiska och hygieniska faktorerna.

⁷ SOSFS 1996:33 Socialstyrelsens allmänna råd om städning i skolor, förskolor, fritidshem och fritidsgårdar (2010-10-25)

⁸ B. Nordquist, Föreläsning i Inneklimat och funktion, Byggnadsfysik och klimatsystem (2009-03-25)

2.1 Begrepp

I rapporten kommer följande begrepp att användas:

Avluft: Den använda luften som tagits ut ur byggnaden kallas avluft när den passerat frånluftskanaler och luftbehandlingsaggregat.

Cirkulationsluft: Luft som cirkulerar i bygganden med hjälp av en lokal fläkt.

Distributionssystem: Kanaler som fördelar till- och frånluft.

Ekvivalent temperatur: Tar liksom operativ temperatur hänsyn tilluftens och omgivningens strålningstemperatur men även luftrörelsernas inverkan. Vid en stillastående luftrörelse är ekvivalent temperatur och operativ temperatur lika.

Frånluft: Den luft som sugts ut ur rummet.

Kallras: Luftrörelser som bildas vid kalla ytor. Luften som strömmar till området kyls, blir tyngre och strömmar nedåt.

Kastlängd: Kastlängden används som ett begrepp för att mäta om drag uppkommer i vistelsezonen. Kastlängden beror av donets placering, rummets storlek och geometri samt tilluftens hastighet och temperatur. Den definieras som avståndet från donet till där lufthastigheten oftast 0,2 m/s uppmäts.

Luftbehandlingsaggregat: Kan bestå endast av en fläkt, eller mer avancerat system med värmare, filter, återvinnare.

Operativ temperatur: Temperatur som förutom rumsluftens temperatur även tar hänsyn till omgivande ytors temperatur.

Riktad operativ temperatur (ROT): En form av operativ temperatur, tar endast hänsyn till strålning från ett håll.

Rumssystem: Till- och frånluftsdon i rummen.

Styr - och reglersystem: Reglerar ventilationssystemets temperaturer, tryck eller luftflöden.

Tilluft: När luften passerat ventilationsaggregat, där föroreningar filtrerats bort och luften värms upp och sedan tillförs till byggandens rum via kanaler kallas den tilluft.

Vistelsezon: Avgränsas mot rummets ytor både i horisontell och i vertikalriktning. Vistelsezonen är utrymmet mellan två horisontella plan på 0,1 m och 2,0 m höjd samt två vertikala plan på 0,6 m från ytterväggar alt, andra begränsningar, dock max 0,1 m vid dörr eller fönster.

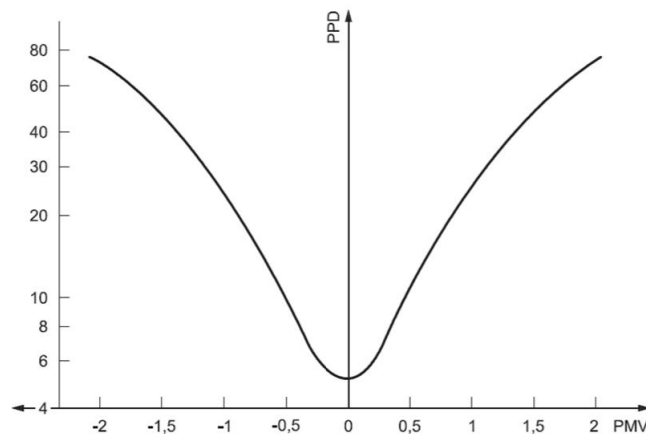
Återluft: Frånluft som blandas in i tilluften för att minska behovet av värme.

Överluft: När tilluftsdonen placeras i ett rum och frånluftsdonen i ett annat så förflyttar sig luften genom otätheter vid t ex dörrar eller don mellan rummen. Detta kallas överluft.

2.2 Termisk komfort

Vi människor har individuella nivåer för när vi anser oss nöjda med rumstemperaturen. Detta medför att det är omöjligt att specificera ett termiskt klimat som är tillfredställande för alla människor samtidigt. Hur mycket kläder och vilken aktivitet som människan har inverkar självklart på det upplevda klimatet, men även

om människor skulle använda en likadan klädsel och ha samma aktivitetsgrad skulle vi föredra olika temperaturer. Undersökningar utförda visar att minst 5 % av människorna i en samling alltid är missnöjda med det termiska klimatet, se *figur 4* nedan. Allmänt gäller att andelen otillfredsställda ska understiga 10 %, för ett godkänt inneklimat.⁹ *Figur 4* visar PMV (Predicted Mean Vote), som anger den förväntade bedömningen av det termiska inneklimatet. På grafens Y-axel anges procentandelen missnöjda av en grupp människor, PPD (Predicted Percentage Dissatisfied).¹⁰



Figur 4; Antalet missnöjda, PPD, med det termiska inneklimatet, efter ett förväntat medelutlåtande, PMV (ASHRAE)

2.2.1 Temperaturbegrepp

Rummets temperaturer kan mätas på olika sätt. Det lättaste är att mäta luftens temperatur. Vilken temperatur som är mest behaglig är individuellt, yngre människor som rör sig mycket brukar föredra lägre innetemperaturer än äldre mer stillasittande personer men beror också på klädsel, luftrörelser, omgivande ytors temperatur etc.

Om det finns ytor i rummet som har mycket lägre temperatur än luften kommer de inverka på den upplevda temperaturen genom strålning. För att mäta rummets temperatur kan därför den operativa temperaturen mätas. I BBR:s råd om termiskt klimat används ROT, riktad operativ temperatur.¹¹

Om luftrörelser i rummet är för stora kommer dessa att upplevas som drag. Lufthastighetsgränsen för när luften upplevs som drag är vid 0,15-0,20 m/s,

⁹ B. Nordquist, Föreläsning i inneklimat och funktion, Byggnadsfysik och klimatsystem (2009-03-25)

¹⁰ E. Abel, A. Elmroth (2008) Byggnaden som system, s. 34

¹¹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 1:5-12

ventilationssystemet ska utformas så att lufthastigheten i vistelsezon ligger under den nivån.¹²

Eftersom innetemperaturen uppfattas individuellt och beror av flera olika faktorer är den svår att beräkna. Inneklimatet definieras därför efter hur många som tycker att klimatet är bra enligt den internationella standarden SS EN ISO 7730. Den operativa temperaturen i kontor och klassrum bör enligt standarden hålla 23-26°C, sommartid och 20-24°C vintertid.¹³

Kravet på det termiska klimatet ställs av olika myndigheter, dessa beskrivs närmre i *kapitel 3, Regler om inneklimat*.

2.3 Hygieniska klimatkrav¹⁴

Luftens kvalitet inverkar på människors hälsa, komfort och prestationsförmåga. Luften förorenas t.ex. av koldioxid, lukt, fukt och partiklar.

I de flesta fallen där en byggnads föroreningshalt mäts sker det med hjälp av en koldioxidmätare. Koldioxid är relativt lätt att mäta, halten ökar i samma takt som de flesta andra föroreningar genererade av människor, t ex lukt. Halten koldioxid i luft ger därför en bra indikator på luftkvalitet. Vid höga halter koldioxid uppstår symtom som huvudvärk, trötthet och ökad andningsfrekvens. Normalt anses koldioxidens gränsvärde vara 1 000 ppm.

Damm och biologisk tillväxt innehåller allergener som kan orsaka besvär som astma och allergi hos människor. Höga temperaturer och hög relativ fuktighet ökar risken för uppkomst av dammkvalster, alger och mögel.

Nyinstallerade produkter, byggnads- och inredningsmaterial kan avge mer eller mindre flyktiga organiska ämnen. Emissioner, som avtar med tiden, kan orsaka irritation i näsa, hals och ögon, ge hudutslag mm.

I vissa byggnader kan flera personer få likande besvär, de vanligaste symtomen är t.ex. trötthet, illamående, koncentrationssvårigheter, klåda, hosta. Orsaken är inte alltid känd, men kan bero av en blandning av dålig ventilation, mögelskador, dålig städning mm.

¹² E. Abel, A. Elmroth (2008) Byggnaden som system, s. 33

¹³ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 1:5-12

¹⁴ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 1:19-26

3 Regler om inneklimat

Följande kapitel redogör för myndigheters råd och krav på inneklimat i skolbyggnader, som hamnar under kategorin lokalbyggnader. I detta kapitel förklaras de termiska och hygieniska kraven på inneklimat. Energikrav hanteras i *kapitlet 6, Passivhus*.

Krav eller rekommendationer på inneklimat ges av Boverket, Arbetsmiljöverket och Socialstyrelsen. Boverkets regler berör både nybyggda bostäder och arbetsplatser och finns formulerade i Boverkets byggregler, BBR. Arbetsmiljöverket behandlar klimatet på arbetsplatser i föreskrifterna Arbetsmiljöverkets föreskrifter, AFS. Socialstyrelsen hanterar inneklimatet i bostäder och lokaler där människor vistas mer än tillfälligt, med allmänna råd som finns samlat i Socialstyrelsens författningssamling, SOSFS.

3.1 Termiska krav

Arbetsmiljöverkets föreskrifter behandlar de termiska rekommendationerna i AFS 2000:42, "Arbetsplatsens utformning". AFS ställer krav på lufttemperaturerna och lufthastigheten inomhus vintertid och sommartid. Dessutom ställs krav på den vertikala temperaturdifferensen i rummet. Grundkravet är att hålla ett lämpligt termiskt klimat på arbetsplatsen.¹⁵

BBR ger råd om det termiska inneklimatet i kapitlet för hygien, hälsa och miljö vid DVUT, dvs. dimensionerande vintertemperatur (*se kapitel 5.9.1, Dimensionerande temperaturer för närmare förklaring*). BBR:s råd gäller riktad operativ temperatur (*se kap 4, Ventilation för närmare förklaring*) till skillnad från AFS som ger råd om lufttemperaturen. BBR har dessutom krav på strålningstemperatur mot varmt tak och fönster samt golvets yttemperatur. I AFS finns råd om högsta lufthastighet under vinter och sommar.¹⁶

Socialstyrelsens allmänna råd liknar till stor del BBR:s krav. Råden hittas i SOSFS 2005:15, "Temperatur inomhus".

En sammanställning av rekommendationerna finns i *tabell 1*. Kraven gäller i rummets vistelsezon.¹⁶

¹⁵ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 1:14

¹⁶ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 1:15

Inneklimatfaktor	Rekommendationer enligt AFS 2000:42	Råd vid DVUT enligt BBR 2006:2	Rekommendation enligt SOSFS 2005:15
Lufttemperatur, vinter	20-24°C ¹	-	-
Lufttemperatur, sommar	20-26°C ¹	-	-
Operativ temperatur vintertid	-	ROT lägst 18°C eller 20°C ²	20-23°C 22-24°C ²
Operativ temperatur sommartid	-	-	26 - 28°C
Lufthastighet, vinter	0,15-0,2 m/s	< 0,15 m/s	< 0,15 m/s
Lufthastighet, sommar	0,15-0,2 m/s	< 0,25 m/s ³	> 0,15 m/s om lufttemperatur > 24°C
Vertikal temperaturdifferens, 0,1 och 1,1 m	< 3°C	-	< 3°C
Strålningstemperaturasymmetri mot varmt tak	-	< 5°C	< 5°C
Strålningstemperaturasymmetri mot fönster	-	< 5°C	< 10°C
Yttemperatur på golv	-	16-26°C 18-26°C ⁴ 20-26°C ⁵	20-26°C

Tabell 1; Boverket, Socialstyrelsen och Arbetsmiljöverket, råd och rekommendationer för termiskt inneklimat

1, för stillasittande arbete
2, för känsliga grupper

3, ej vid DVUT
4, hygienrum

5, lokaler för barn

3.2 Hygieniska krav

I inledningen av Socialstyrelsens råd för städning i skolor, förskolor, fritidshem och fritidsgårdar (SOSFS 1996:33) står: ”barn är i regel mer känsliga för olika miljöfaktorer och därför är det av särskilt stor betydelse att värna om de miljöer barn vistas i. En god inomhusmiljö är viktig för trivsel och hälsa. Inomhusluftens kvalitet är beroende av en mängd olika faktorer, t.ex. byggnadens konstruktion och material, ventilation, inredning och städning.” Socialstyrelsen påpekar även att andelen personer med allergier ökar och är idag betraktat som en folksjukdom hos barn.

Undersökningar som gjorts på skolor och förskolor visar att ca 30-40 % av barnen har eller har haft någon form av allergi eller överkänslighet.¹⁷

Likt kraven på det termiska klimatet så regleras det hygieniska inneklimatet av Boverket, Arbetsmiljöverket och Socialstyrelsen. De olika regelverken har i stort sätt samma krav och regler för det hygieniska klimatet:

Ventilationssystemet ska utformas så att hälsofarliga ämnen, fukt, lukt och emissioner kan föras bort¹⁸. För att täcka det hygieniska kravet ska uteluftsflödet minst vara 7 l/s per person med tillägget 0,35 l/s per m² golvarea för skolor och lokaler för barnomsorg. Tillägget på 0,35 l/s per m² golvarea används för att täcka eventuella föroreningar från andra källor än människor.¹⁹ Mätning av rummets koldioxidhalt är en indikator på om det hygieniska kravet är uppfyllt. Koldioxidhalten ska inte överstiga 1 000 ppm under längre tid än korta stunder.²⁰

Boverkats hygieniska krav hittas i BBR 2008 6:2. Arbetsmiljöverket behandlar luftkvalitet i AFS 2009:2§16. I Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken - ventilation; SOSFS 1999:25 ges råd om hygieniskt inneklimat.

¹⁷ SOSFS 1996:33 Socialstyrelsens allmänna råd om städning i skolor, förskolor, fritidshem och fritidsgårdar (2010-10-25)

¹⁸ Regelsamling för byggande, BBR 6:2 Hygien, hälsa, miljö; luft (2008)

¹⁹ SOSFS 1999:25 Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken - ventilation, (2010-10-25)

²⁰ Arbetsmiljöverkets författningssamling, Arbetsplatsens utformning, AFS 2009:2 § 16

4 Ventilation

Följande kapitel förklarar ventilationssystemsutformningar som är vanliga i skolor.

Ventilationens syfte är att tillföra ren luft och att leda bort förorenad luft. Ventilationen ska ge behagligt termiskt och hygieniskt klimat, där kraven på inneklimatet ska vara uppnådda.

Med hjälp av ventilationen ska även föroreningarnas spridning i byggnaden minska. Föroreningarna ska inte kunna spridas i huset ”renare” område från en mer förorenad del av huset. Tilluftsdon ska därför placeras i de rum där personer oftast vistas, i fallet för skolor är det klassrum och kontorsrum. Luften leds sedan vidare som överluft till exempelvis toaletter, eller sugts ut i rummen genom frånluftsdon. Uteluftsintaget ska inte placeras i närheten av en väg, parkeringsplats eller motsvarande, då minskas risken för att föroreningar tas in med uteluften. Även vindriktningen är viktig att ha i åtanke vid placering av avluftshuv och uteluftsintag.²¹

Ventilationen kan även fungera som ett system för komfortkyla eller värme, genom att föra bort oönskad värme eller genom att tillföra värme.²²

Ventilationen av en skola ska vara igång under den tiden som den är i bruk. För att föra bort föroreningar bör den vara igång någon timme före och efter byggnaden är i bruk.

4.1 Ventilationssystem i skolor

Regler, krav och rekommendationer från myndigheter utgörs av funktionskrav, och ställer därmed inte krav på valet av ventilationssystem. I Sverige används huvudtyperna självdrag, frånluft, och till- och frånluft med återvinning. FTX- system kan utformas med ett variabelt eller konstant luftflöde (VAV- respektive CAV- system). Skolor har i princip alltid FTX- system efter stora luftflöden kan tillföras. *Figur 5* visar en principbild över ett FTX- system.²³

FTX system kan ge upphov till drag och buller men om det är rätt projekterat, monterat, injusterat och underhålls regelbundet är förutsättningarna goda för bra funktion. T ex måste filter bytas regelbundet för att inte fläktarbetet ska öka eller ventilationsflödet minska.²⁴

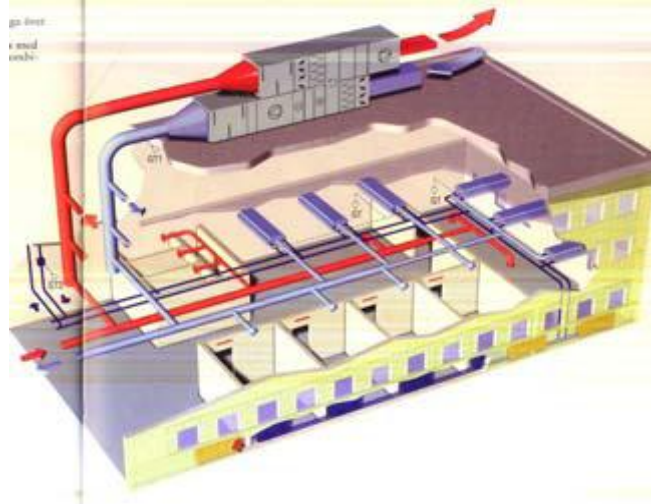
²¹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:1

²² E. Abel, A. Elmroth (2008) Byggnaden som system, s. 163

²³ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:18

²⁴ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:17

FTX-system kallas ibland för balanserad ventilation eftersom tryckskillnad över klimatskalet är liten. Det medför att FTX är känsligare för vindpåverkan och att byggnaden behöver vara mycket lufttät för god funktion.



Figur 5; FTX-system. Källa: M. Dahlblom. Föreläsning i Installationsteknik (2010)

4.2 Donplacering i FTX-system

Systemet ska utformas så att det ger god ventilations- och luftutbyteseffektivitet utan att orsaka drag i vistelsezonen. Det betyder att lufthastigheten inte får vara för hög men samtidigt inte heller för låg. Ventilationsdonen kan placeras efter två huvudprinciper ombländande eller deplacerande strömning.²⁵ Valet beror på hur rummet används, placering av föroreningskällor, placering av värmekällor samt arkitektens eller beställarens önskemål.

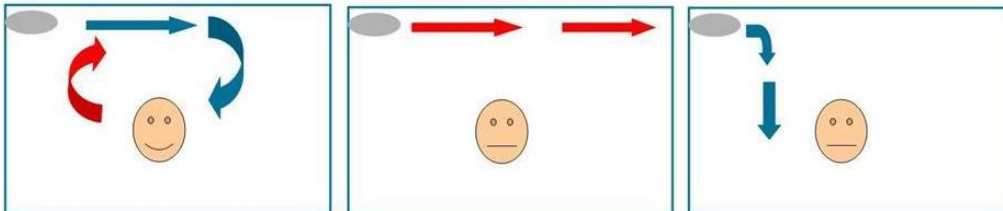
4.2.1 Ombländande ventilation

Vid ombländande ventilation tillförs luften från don placerade i taket eller i väggarna oftast i nivå med taket och med relativt hög lufthastighet. Vid takplacerade don följer tilluftsstrålen takytan och styrs därefter nedåt. Risk finns för att drag uppkommer i vistelsezonen om tilluftshastigheten är hög från donet, eller om luftstrålarna från två takplacerade don har riktas mot varandra.²⁵

Tilluftstemperaturen för ombländande ventilation är normalt runt +18°C, men kan både vara lägre och högre. Vid för låg inblåsningshastigheten med för högtemperatur finns risk för att tilluften inte ombländas med innevarande luft i rummet, utan hålls kvar vid taket. Däremot vid temperatur lägre än 18°C finns risk för drag i vistelsezonen. *Se figur 6.*²⁵

²⁵ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:19

Vid omblandande ventilation uppkommer cirkelrörelser av tilluftsströmmar som blandar rumsluften med tilluften, därmed blir luftkvaliteten och temperaturen jämn i hela rummet.

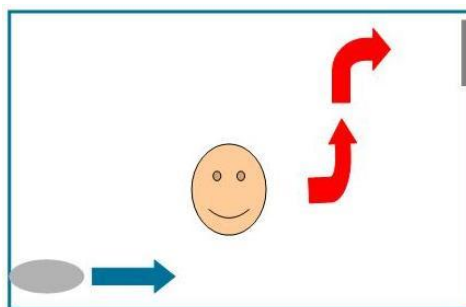


Figur 6; Omblandande ventilation vid rätt omblandning, samt felaktig omblandning från för varm luft med för högt flöde respektive för kall luft med för lågt flöde.

4.2.2 Deplacerande ventilation

Under en period under 80- och 90-talet var det vanligt med deplacerande ventilation skolor. Med deplacerande ventilation tränger tilluften undan rumsluften. Donen har stor öppningsarea och placeras lågt i rummet där de tillför undertempererad luft med låg hastighet. Luften värms upp av människor eller andra värmekällor i rummet och stiger uppåt och leds ut med frånluftsdonen i takhöjd.²⁶

Deplacerande don kan placeras fritt på golvet eller byggas in i väggen. Antalet don varierar efter rummets tilluftsbehov, utformning och verksamhet.²⁶ Vid deplacerande ventilation trycks rumsluften undan och uppåt av den undertempererade tilluften. Det betyder att luftutbytet är större än för omblandande ventilation. Principen för hur deplacerande ventilation fungerar kan ses i figur 7.



Figur 7; Deplacerande ventilation. Tilluft tillförs i rummets nedre del och tas ut genom frånluftsdon i takhöjd.

²⁶ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:29

4.2.3 Placering av till- och frånluftsdon²⁷

Vid placering av tilluftsdon ska rummets utformning samt framtida användning och tänkbara förändringar beaktas. Belysningsarmaturer i taket kan hindra tilluftsstrålen att spridas i rummet och riktar luften ner mot golvet istället. Placeras tillufts- och frånluftsdonen för nära varandra kan tilluften sugas ut direkt utan att först passerat vistelsezonen. En för hög tilluftstemperatur eller för låg tilluftshastighet ökar risken för problem. Kortslutning kan även uppkomma om tilluften strömmar ut från rummet genom en öppen dörr. Ett annat problem är om tillufttemperaturen är för hög samtidigt som lufthastigheten är för låg, då tilluftsdonen placeras i taknivå. Följderna blir att tilluften inte tar sig ner i vistelsezonen utan stannar i taknivå.

4.2.4 Komponenter i luftbehandlingsaggregatet²⁸

Luftbehandlingsaggregatet innehåller en rad komponenter för att tilluften ska få rätt temperatur och kvalitet. De viktigaste komponenterna för detta examensarbete är:

Uteluftsintag: Placeras där uteluften är renast, helst på norrsida och inte placeras för nära ett mörkt tak. Under sommaren kan temperaturen på uteluften annars bli för hög.

Luftfilter: Renar uteluft från partiklar för att tilluften ska hålla en viss luftkvalitet. I vanliga ventilationsfilter renas inte luften från gaser. Även frånluften filteras för att inte värmeåtervinnaren ska smutsas ned.

Luftvärmare: När utetemperaturen sjunker klarar inte värmeåtervinnaren att höja tilluftstemperaturen till de 15-18°C som erfordras därför behövs ett eftervärmningsbatteri. De flesta luftvärmare är vattenburna lamellrörsbatterier som värms via fjärrvärme eller förbränningspanna, men ibland används även elvärmebatterier.

Fläkt: I ett FTX-system finns en fläkt i tilluftssystemet och en fläkt i frånluftssystemet. Fläktarnas uppgift är att kompensera för tryckmotståndet som uppkommer i kanaler, spjäll, don, utluftsgaller, avluftshuvar. Fläkten väljs efter ventilationsflödet och nödvändig tryckökning, kostnad och tillgängligt utrymme. Fläktens elbehov påverkas av luftflöde, behov av tryckökning, och verkningsgrad. Eleffektiviteten anges med SPF, specifik fläkteffekt, som definieras som summan av till- och frånluftsfälktarnas effekter per luftflöde genom byggnaden.

Värmeväxlare: En värmeåtervinnare som värmer tilluften med frånluften. Värmeåtervinnarens förmåga att återvinna värme beskrivs med temperaturverkningsgraden. Det finns olika typer av värmeväxlare; roterande, vätskekopplande samt plattvärmeväxlare. Roterande värmeväxlare har högst

²⁷ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:34

²⁸ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:38

temperaturverkningsgrad, ca 80 %. Vätskekopplande värmeväxlare (även kallat batterivärmeväxlare) har lägst temperaturverkningsgrad, ca 50 %.

Ljuddämpare: Aggregatet ljuddämpas både i tilluftskanalen och i frånluftkanalen för att minimera ljud från fläktarna, intags- och uttagskanal.

4.2.5 Kanalsystemets utformning²⁹

Stora kanaler eftersträvas eftersom de ger låga lufthastigheter och lågt tryckmotstånd, därmed minskar elbehovet för fläktar minskar och ljudalstringen minskar. Stora dimensioner ger dock en ökad byggkostnad.

Kanalerna isoleras för att undvika temperaturförluster, brand- och ljudspridning, samt för att undvika att kondens bildas.

²⁹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 2:75

5 Värme

Följande kapitel redogör för hur värmesystemet är uppbyggt, vad som påverkar valet av värmesystem, vilka parametrar som påverkar byggnads värmebalans samt metoder för att ställa upp en värmebalans. Kapitlet tar inte upp beräkningsmetoder för en byggnads värmebalans och energibehov. Inte heller redogörs krav från myndigheter om maximalt tillförd värme till byggnader. Det senast ovan nämnda behandlas i *kapitel 6, Passivhus*.

Värmesystemet ska klara kraven på termiskt inneklimat, dvs. det som beskrivs i *kapitel 2, Inneklimat*. Värmesystemets uppgift är att förse varje rum med rätt mängd värme för att skapa ett behagligt inneklimat för brukarna.

5.1 Värmesystem genom tiderna³⁰

Olja var på 1970-talet det vanligaste uppvärmningsbränslet i Sverige. Därefter blev direktverkande el allt vanligare och kom att ersätta oljan. Idag och sedan tjugo år tillbaka är fjärrvärme den dominerande värmekällan. Under denna senare tid har även värmepumpar, solfångare och solceller hamnat mer i fokus. Vilken värmekälla som utnyttjas i byggnaden styrs av ekonomiska incitament, miljöpåverkan samt underhållskrav. Den vanligaste värmekällan i skolor är numera fjärrvärme.

Ett fjärrvärmesystem försörjer en hel eller del av en tätort med värme från ett gemensamt värmeverk. Begränsningen av fjärrvärmenätet bestäms av förlusterna vid distributionen. I systemet cirkulerar vatten som transporteras i nedgrävda, välisolerade rör, *se figur 8*. Vattnet är mellan 70-120°C och för att det inte ska koka sker transporten under mycket högt tryck. I byggnaden överförs värmen (primärvattnet) till byggnadens eget system (sekundärvattnet) via en värmeväxlare.

³⁰ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:1



Figur 8; Fjärrvärmesystem. Källa: M. Dahlblom. Föreläsning i Värmesystem, Installationsteknik, (2010 04-20)

Alternativet till fjärrvärme är värmepanna, värmepump, solfångare, direktverkande elradiatorer etc.

5.2 Värmedistributionssystem

Det absolut vanligaste sättet att fördela värmen i skolor är med vattenburet distributionssystem med radiatorer eller konvektorer som rumsvärmare. E Efterhand som nybyggda skolor blir allt mer energieffektiva kommer dock det luftburna systemet förmodligen att bli ett mer tänkbart alternativ. Val av system, storlek och dess utformning beror på byggnadens värmeeffektbehov som i sin tur beror på lägsta krav på inneklimat. Värmeeffektbehovet beräknas för varje enskilt rum. Rumsvärmare sker så att komfortkraven kan uppfyllas.³¹

Typ av värmare och placering väljs så att termiska komfortkrav uppfylls. De olika värmare som finns kan delas upp i tre huvudgrupper; vattenburna, direkt- elvärmare samt luft- och vattenanslutna.³¹

Vattenburna värmare

Vattenburet värmesystem är det vanligaste sättet att transportera värme i byggnaden. I detta system distribueras uppvärmt vatten i en panna, värmepump eller värmväxlare ut i en framledning till samtliga värmare som är av typen radiatorer, golvvärme, konvektorer etc. När vattnets värme överförs till värmarna, som i sin tur alstrar värme till luften, cirkulerar det nu något kallare vattnet tillbaka i returledningar för att värmas upp på nytt.³²

³¹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:22

³² C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:35

Vattenburna värmare kan med fördel användas i byggnader där värmetillskottet från internlasten inne i byggnaden varierar, eftersom värmesystemet kan styras efter innetemperaturen. Vanligast är dock att den styrs av rådande utomhusklimat vilket kan vara en nackdel eftersom det då kan vara svårt att hålla en jämn temperatur i alla rum.³³

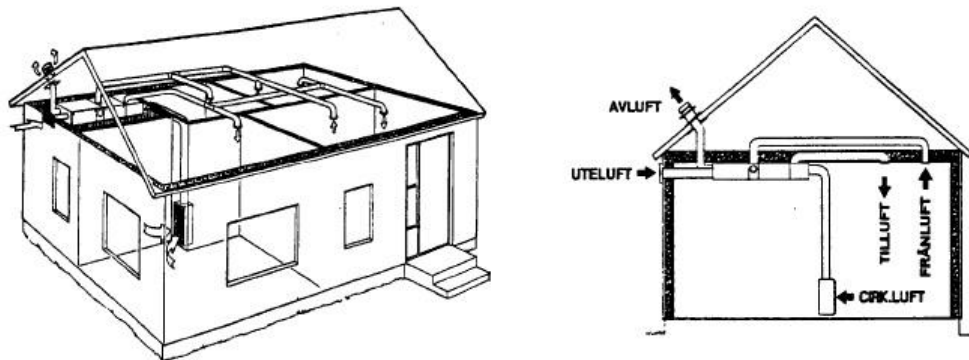
5.3 Varmluftssystem³⁴

Ett värmesystem som distribuerar värme med luft benämns varmluftssystem och är en kombination av värme- och ventilationssystem.

Den energi som byggnaden förlorar värmeförluster tillförs med tilluften som då behöver ha tillräckligt hög temperatur. En principskiss av systemet finns i *figur 9*.

Ett varmluftssystem är ett något modifierat FTX- system, se ventilationsavsnittet.

I ett bostadshus som är i behov av stor värmeeffekt kan detta betyda att vid en normal luftomsättning 0,5 oms/h krävs en avsevärd hög tilluftstemperatur. Detta medför en ökad risk för skiktning av luften, dvs. att varm luft med lägre densitet lägger sig i takhöjd. En lägre tilluftstemperatur uppnås genom att öka tilluftsflödet och inblandningen av rummets innevarande luft så kallad cirkulationsluft. Det är dock viktigt att ha koll på att BBR:s krav på uteluftsflöde 0,35 l/s, m² inte underskrids. Av denna anledning har varmluftssystem framför allt blivit ett vanligt system i passivhus som i och med sitt tjocka välisolerade och lufttäta klimatskal har ett lägre effektbehov.



Figur 9; Luftvärmesystem. Källa: M. Dahlblom. Föreläsning i Värmesystem, Installationsteknik, (2010-11-01)

³³ M. Dahlblom, föreläsning i värmesystem, Installationsteknik VBFA01 (2010-04-20)

³⁴ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:35

5.4 Komplikationer med luftburen värme

I stora delar av USA är övertempererad luft i ventilationssystemet det vanligaste sättet att värma hus. I Europa är systemet mer ovanligt, men förekommer.³⁷ Nu närmast förklaras problematiken med att ventileras med övertempererade luft, samt hur luftrörelser uppstår i ett rum.

Problem

Vid användning av luftburen värme får alla rum samma tilluftstemperatur, oberoende av värmebehovet i rummet. Det beror på att uppvärmningen av ventilationsluften sker centralt i huset. I praktiken kan det vara svårt att reglera luftflödena till varje rum så att ett tillfredställande rumsklimat ges, eftersom rummets behov ofta varierar. Installeras istället en värmare i varje rum är det lättare att tillgodose ett individuellt värmebehov. Ett luftsystem påverkar dock luftens temperatur snabbare än vad ett vattenburet system gör.³⁵

Ytterligare ett problem är att få systemet helt tyst, dessutom krävs mer skötsel och underhåll än om ett vattenburet system används.³⁶

Luftrörelser och omblandning

När luft tillförs till ett rum är det tilluftens hastighet i kombination med luftflödet, dvs. dess impuls, som påverkar rörelserna hos rumsluften. Rumsluften påverkas även av verksamheten i rummet. Varje varm eller kall yta leder till termiska luftströmningar där varm luft stiger och kall luft sjunker, omgivande luft sätts då också i rörelse på grund av medinjektion. Vid rörelse i rummet kommer även rumsluften sättas i rörelse. Rummets luftrörelser och tilluftens omblandning med rumsluften kommer därmed att variera beroende på verksamheten. I ett rum med pågående verksamhet tenderar omblandningen att bli tillräcklig. Risken finns dock för att omblandningen blir bristfällig om ventilationsluften tillförs vid taket.³⁶

I ett rum med högt i tak kan en stabil temperaturskiktning i höjddled uppstå. Det innebär även att rummets föroreningar kan komma att skiktas i rummet. Oftast behövs en rumshöjd över 3 m för att temperaturskiktning ska uppkomma. Om övertempererad luft tillförs via takplacerade tilluftsdon kan luften samlas vid taket och därmed inte ventileras rummets nedre delar. Om även frånluftsdonen är placerade i taknivå kan kortslutning uppkomma och tilluften tas ut med frånluften utan att passera vistelsezonen.³⁶

Lösning

Det finns därmed en restriktion mot att takplacera tilluftsdon om övertempererad luft kommer att användas. Omvänt kan ett krav på rummets omblandning ställas om

³⁵ E. Abel, A. Elmroth, Byggnaden som system (2008) s. 96-98

³⁶ E. Abel, A. Elmroth, Byggnaden som system (2008) s. 164

ventilationen är placerad i taket. En luftutbyteseffektivitet på 0,5 är vanlig i rum som ventileras med undertempererad luft, samma krav bör därmed ställas på luftomblandningen när övertempererad luft används.³⁷

5.5 Värmebehov³⁸

En byggnads värmebehov kan definieras på två olika sätt, dels utifrån värmeeffektbehovet och dels utifrån värmeenergiebehovet. Effektbehovet är direkt kopplat till byggnadens investeringskostnader.

Med kännedom om byggnadens klimatskal och installationssystem kan värmeeffektbehovet (i watt) beräknas. Det framräknade resultatet används därefter till att dimensionera rätt storlek på värmesystemet.

Värmeenergiebehovet som anges i kilowattimmar är istället kopplat till byggnadens driftkostnader. Svårigheterna att beräkna värmeenergiebehovet i projekteringsstadiet är bland annat ovissheten om brukarnas beteende som är en avgörande faktor för uppvärmningens energiåtgång.

5.6 Värmeeffektbalans

Som tidigare nämnt utgår dimensionering på värmesystemet ifrån effektbehovsberäkningar. Effektbehovet beräknas genom att ställa upp en värmeeffektbalans för byggnaden, med tillförsel av värme på ena sidan och bortförsl på den andra. Beräkningen utförs rum för rum eller för hela byggnaden.³⁹

Ekvationen för värmebalans:

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad [W]$$

Den värme som passerar ut genom byggnaden består av transmission P_t , ventilation P_v och oavsiktlig ventilation eller luftläckage P_{ov} . Värmetillförseln utgörs av värmesystem P_w , solinstrålning P_s samt internt genererad värme P_i .³⁹

5.6.1 Dimensionerande temperaturer

Vid dimensioneringen av värmesystemet utgår man ifrån en trolig lägsta dimensionerande vintertemperatur, DVUT och dimensionerande innetemperatur, DIT.

DIT bestäms av den verksamhet som ska bedrivas i byggnaden samt beroende på de termiska komfortkrav som brukare eller byggherre ställer. Kraven från BBR,

³⁷ E. Abel, A. Elmroth, Byggnaden som system (2008) s. 170

³⁸ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:3

³⁹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:8

Socialstyrelsen samt Arbetsmiljöverket för termisk komfort ska dessutom alltid uppfyllas. För skolor brukar DIT ofta väljas till 20°C.

Med DVUT, avses den lägsta medeltemperatur som förväntas uppträda under minst ett dygn. DVUT i sin tur beror av byggnadens tidskonstant samt var i landet huset är beläget. Ett underskattat värde på DVUT leder till ett överdimensionerat värmesystem som funktionellt sett därmed blir sämre och onödigt dyrt. Ett underdimensionerat system till följd av ett överskattat värde på DVUT ger åt andra sidan ett för kallt inneklimat vid låga utetemperaturer.⁴⁰

I tidigare byggregler motsvaras DVUT av begreppet LUT (Lägsta Ute Temperatur) som därefter övergick till DUT (Dimensionerande Ute Temperatur) innan DVUT. De används till samma ändamål men definieras annorlunda.⁴¹

Enligt BBR 16 (BFS 2008:20) skiljer sig DVUT från DUT_{20} . För tidskonstanter som är mindre än 100 timmar ger DUT_{20} en kallare temperatur och för tidskonstanter större än 100 timmar ger DUT_{20} en varmare temperatur. En kallare utetemperatur leder till ett större effektbehov för byggnaden och därmed kan konstateras att DVUT gynnar byggnader med låga tidskonstanter och missgynnar byggnader med höga tidskonstanter. För längre tidskonstanter >96 timmar saknar dessutom DVUT värden och är därför inte tillämpbar för tunga byggnader.⁴²

Byggnadens tidskonstant

Byggnadens tidskonstant beskriver husets värmetröghet, dvs. hur snabbt huset kyls vid en sjunkande utetemperatur. Detta uttrycks genom lätt eller tung stomme. En tung stomme har bättre förmåga att stå emot kylan, som märks inomhus först efter en längre period. Medan inneklimatet i en lätt stomme snabbare påverkas av ett väderomslag utomhus. Tidskonstanten har enheten timmar (h) och beräknas genom summan av kvoten mellan materialskiktens massa multiplicerat med respektive specifika värmekapacitet och byggnadens specifika värmeeffektförlost. Med framräknat värde på tidskonstanten kan sedan DVUT avläsas ur tabell för specifik ort.

Transmissionsförluster⁴³

Till transmissionsförluster räknas den värmetransport som sker genom klimatskalet, dvs. värmeflödet genom väggar, tak, golv, fönster och köldbryggor. Avgörande för förlusternas storlek är byggnadsdelarnas U-värde.

⁴⁰ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁴¹ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:4

⁴² Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁴³ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:9

Ventilationsförluster⁴⁴

Ventilationsförluster uppstår när uteluft värms till rumstemperatur och ersätter den redan uppvärmda rumsluften. Ventilationsförlusterna sker dels vid värmning av ventilationsluft i rummet dels vid värmning av ventilationsluft i luftvärmebatteriet. Storleken på förlusterna i rummet beror på ventilationsflödet och skillnaden mellan innetemperaturen och tilluftens temperatur. I luftvärmebatteriet beror den på ventilationsflödet och skillnaden mellan tilluftstemperaturen och lufttemperaturen efter värmeåtervinning. Ju högre luftflöde och temperaturskillnad desto större blir ventilationsförlusten. En hög värmeåtervinningsgrad ger ett lägre värmeeffektbehov.

Luftläckage⁴⁵

Luftläckage beror på klimatskalets täthet. Stora otätheter leder till att mycket uteluft kan läcka in och ut. Ett stort luftläckage leder till att ett större värmesystem behövs. Den totala effekten beror således på läckageflödet och på temperaturdifferensen mellan inomhus- och utomhus.

Solinstrålning⁴⁶

Solinstrålningen beror av rummets orientering och årstid. Transmitterad solinstrålning genom fönster ger ett värmetillskott och bidrar på så vis positivt till värmebalansen under kalla månader. Eftersom inte solen garanterat lyser vid DVUT förbiser man solinstrålningen vid beräkning av dimensionerande effektbehov.

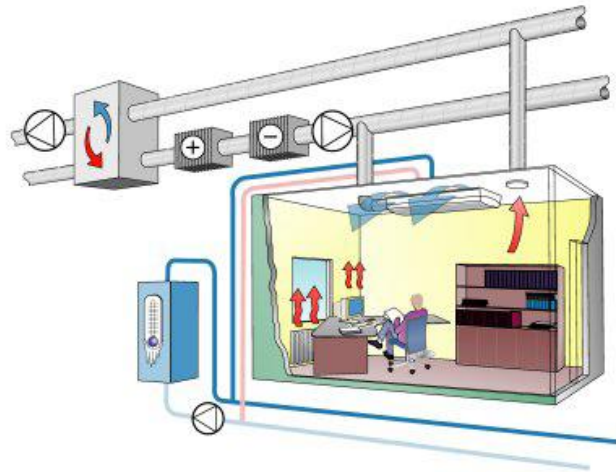
Internvärme⁴⁶

Internvärme från människor, elapparater och belysning etc. kallas gratisvärme. Det diskuteras om detta ska medräknas vid en beräkning av dimensionerande effekt. Allmänt brukar det negligeras, av samma anledning som för solinstrålning. En principbild över internvärmelaster i ett rum, *se figur 10*.

⁴⁴ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:4

⁴⁵ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:12

⁴⁶ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:12



Figur 10; Internvärmelaster. Källa: M. Dahlblom. Föreläsning, Installationsteknik (2010)

Värmesystem⁴⁷

Med kända ovanstående parametrar kan således byggnadens värmeeffektbehov beräknas. Effektbehovet för uppvärmning beräknas dels momentant och dels dimensionerande. Det dimensionerande används till att bestämma erforderlig och optimal storlek på värmesystemet medan det momentana effektbehovet används till att beräkna byggnadens årliga energibehov. Det årliga energibehovet ska ligga under kravet på vad den tillförd energi maximalt får uppgå till enligt rådande krav från regelverk. Det momentana värmeeffektbehovet är skillnaden mellan byggnadens effektförluster och tillförande grattiseffekt, ett samlingsnamn för solvärme och internvärme. Effektförlusterna är en funktion av differensen mellan ute- och innetemperaturen. Det dimensionerande effektbehovet beräknas istället endast genom effektförlusterna som en funktion av differensen mellan DIT och DVUT.

⁴⁷ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:13
36

6 Passivhus

Följande kapitel beskriver de väsentliga passivhusbegreppen, skillnaden vad gäller byggnadsteknik och installationssystem gentemot konventionella hus. I kapitlet förklaras även kraven för att få kallas passivhus och incitamenten till att bygga med passivhus teknik. Teknikens utveckling beskrivs översiktligt som en nationell tillbakablick och med några genomförda projekt i Sverige.

6.1 Vad är passivhus?⁴⁸

Passivhus innebär att huset har ett mycket lågt effekt- och värmebehov. Kraven på inneklimatet ska uppfyllas i stor utsträckning med värme som genereras av personer, elektriska apparater, belysning samt solinstrålning. För att erhålla ett lågt effektbehov ska huset vara välisolerat, lufttätt samt ha en hög temperaturverkningsgrad på ventilationsåtervinning. Vid låg utetemperatur behöver värme tillföras, i de flesta passivhus sker detta genom att tilluften värms, till skillnad mot konventionella hus där värme tillförs med t.ex. radiatorer, konvektorer eller golvvärme. För att ett hus ska få kallas passivt krävs att det uppfyller en rad krav definierade av Energimyndigheten, se vidare längre fram i detta kapitel.

För att få kallas passivhus måste en rad krav vara uppfyllda, vilka finns förklarade i en kravspecifikation för passivhus, utarbetad av FEBY (förklaras närmare nedan). Enligt FEBY:s definition får den tillförda värmeeffekten högst uppnå $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$ vid en innetemperatur på 20°C . Definitionen gäller för byggnader belägna söder om Dalälven. Uppvärmningssystemet är därmed inte avgörande för klassningen utan kraven gäller storleken på effektbehovet tillsammans med uppsatta krav på konstruktionens komponenter.

Skillnaden mellan BBR:s krav för maximal energianvändning och riktvärdet för passivhus är nästan det dubbla, vilket tyder på att installationer och byggnadsstomme har en stor inverkan på energiåtgången.

6.1.1 FEBY - Forum för energieffektiva byggnader⁴⁹

Energimyndighetens styrgrupp har tagit fram enheten FEBY (Forum för energieffektiva byggnader) som tillsammans med branschen har arbetat fram en kravspecifikation för passivhus. Den frivilliga kravspecifikationen utgör en tillika frivillig standard för passivhus, men är obligatorisk för att få klassas. Denna kravspecifikation innehåller specifika krav på bygganden ska uppfylla för att få klassas som en passiv byggnad. De framtagna kraven utgår ifrån de uppsatta kraven i

⁴⁸ Konceptet passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2010-10-28)

⁴⁹ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

Tyskland där passivhusen en gång började produceras, kraven är anpassade till svenska förhållanden.

6.1.2 Kravspecifikation för passivhus enligt FEBY

För att ett hus ska få klassificeras som passivhus får uppvärmningens effektbehov maximalt uppnå $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$, vilket också är definitionen för passivhus. Det är med andra ord inte valet av uppvärmningssystem som är avgörande för klassningen utan istället effektbehovets storlek.

Utöver effektbehovskravet ger dock FEBY ett rekommenderat värde på den specifika köpta energianvändningen till $E_{\text{köpt}} \leq 50 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$. Detta är dock endast ett riktvärde och ej avgörande för klassningen. Andra krav som ställs på byggnaden och som är avgörande för klassificeringen är värden på konstruktionsdetaljer och installationstekniska klimatvärden.⁵⁰

Kravet på ett lågt effektbehov med hjälp av passiva värmekällor medför att värmeläckaget genom byggnaden måste sänkas påtagligt, vilket ställer en hög konstruktionsmässig fordran.⁵¹

För att ett hus ska klassificeras som passivhus måste följande krav uppfyllas enligt FEBY:

- Effektbehov för uppvärmning max $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$.
- Fönster $U < 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Lufttäthet $< 0,30 \text{ l/m}^2\text{s}$
- Ljudklass B (ventilation)
- Tilluftstemperatur $< 52^\circ\text{C}$
- Ett system som mäter energiåtgången

Följande riktvärde för passivhus ges av FEBY:

- Rekommenderad specifik energianvändning $E_{\text{köpt}} \leq 50 \text{ kWh/m}^2$

Syftet med de specificerade kraven som avser passivhus är ett minimerat behov av tillförd energi och effekt för byggnadens uppvärmning. Det minimerade behovet får dock inte reduceras i så stort omfattning så att ett erforderligt termiskt klimat inte kan tillgodoses.

⁵⁰Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁵¹Konceptet passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2010-10-28)

I kravspecifikationen för passivhus är utgångspunkten av funktionell definition, där luftflödet ska kunna klaras att distribueras med värme via hygienflödet. Detta är inget krav utan snarare en möjlighet för byggnader med passivhusteknik.⁵²

*Tyska kravkriterier*⁵³

PHI, Passiv Haus Institut i Tyskland, har motsvarande utformade passivhuskriterier som i Sverige. Jämfört med Sverige kan konstateras att Tysklands passivhuskrav är något strängare. Ett antal värden att jämföra ges nedan:

- Energikrav värme $\leq 51 \text{ kWh/m}^2$
- Effektkrav värme $\leq 10 \text{ k/m}^2$ eller energikravet uppfyllt
- Fönster $U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Lufttäthet $< 0,6 \text{ l/m}^2\text{s}$
- Tilluftstemperatur $< 52^\circ\text{C}$

6.1.3 Boverkets krav på värmeeffektbehov⁵⁴

BBR har satt ett tak för vad en byggnad får installera i värmeeffekt i hus som klassas som elvärmdda, dvs. värmepump, elpanna eller direktverkande el. Gränsen för varmvattenberedning och uppvärmning är $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$. BBR har dock inga krav för motsvarande installerad värmeeffekt för byggnader som värms på annat sätt.

För en konventionell skola ligger värmeeffektbehovet på 45-55 $\text{W/m}^2 A_{\text{temp}}$. Högsta tillförda effekt för att få klassas som en passivskola är enligt FEBY 10 $\text{W/m}^2 A_{\text{temp}}$. Både BBR:s och FEBY:s krav beror på husets läge i Sverige, när det är byggt samt hur det är byggt.

6.1.4 Boverkets krav på värmeenergibehov

I BBR 16 ges ett krav på maximal köpt energi som alltid ska uppfyllas vid nybyggnad. Beroende på om byggnaden värms upp med elvärme eller ej ställs olika hårda krav. I söder för zon III för lokaler ska $E_{\text{köpt}}$ max uppgå till $100 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ och år + tillägg, för ej eluppvärmda byggnader, motsvarande maxvärde för eluppvärmda är $55 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ och år + tillägg.⁵⁵

Tillägget beskrivs med termen $70*(q_{\text{medel}}-0,35)$. Det läggs på i de fall där uteluftsflödet av utökade hygieniska skäl är större än $0,35 \text{ l/sm}^2$ i de utrymmen som är temperaturreglerade. q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under säsong för uppvärmning och får högst tillgodoräknas till $1,0 \text{ l/sm}^2$.⁵⁵

⁵² Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁵³ H. Gross. Energismarta småhus (2008) s. 80

⁵⁴ C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) Projektering av VVS-installationer, 4:3

⁵⁵ BFS nummer 2008:20 – BBR 16

Enligt BBR finns även ett krav på att mäta byggnadens energibehov i driftskedet. BBR ställer krav på byggnadens energianvändning, som ska uppfyllas vid all nybyggnad.

BBR:s krav ska alltid uppfyllas. I FEBY: s kravspecifikation för passivhus ges även utöver BBR:s krav även rekommendationer om ett rimligt maxvärde av köpt energi, både viktad köpt energi samt för oviktad köpt energi. I söder, zon III, ska E_{viktad} max uppgå till $60 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp+garage}}$ för bostäder och lokaler. Motsvarande börvärde vid köpt oviktad energi som används vid beräkningar där energiförsörjningssystemet består av ett enda sorts system är max $50 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp+garage}}$.⁵⁶ Motsvarande för eluppvärmda byggnader är max $30 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp+garage}}$.

6.1.5 Certifiering och Verifiering enligt FEBY

FEBY har förutom kravspecifikationen för passivhusklassificering även tagit fram metoder för att följa upp en byggnads projekterade energiprestanda i bruksskedet. Uppföljningens syfte är att efter en kontrollmätning tillhandahålla ett verifikat som intygar att byggnaden håller de passivhuskrav som den projekterades utefter.⁵⁷ Utförandet kan ske i två steg, på två olika nivåer beroende på vad den baseras på. Därav ges två olika intyg.

FEBY definierar de två stegen enligt följande:

Steg 1 - certifiering

I första steget görs en egendeklaration för en projekterad byggnad som benämns som ett certifikat.

Steg 2 - verifiering

I andra steget, när byggnaden är klar, är det möjligt att bedöma det faktiska utfallet med en tredjepartsgranskning. Det är då möjligt att utställa ett verifikat.⁵⁸

En byggnad som projekterats utifrån FEBY: s passivhuskrav och som följts upp och uppfyllt alla krav skal får i marknadskommunikation benämnas ”Verifierat passivhus enligt FEBY ” En byggnad som däremot saknar verifiering ska benämnas ” Projekterad för passivhus enligt FEBY”.⁵⁶

6.2 Passivhusteknikens historia

Passivhustekniken utvecklades av Dr Wolfgang Feist, i Darmstadt Tyskland under 1970-talet. Feist är grundaren till ett passivhusinstitut som grundades i Darmstadt.

⁵⁶ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁵⁷ Mätning och Verifiering. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁵⁸ Intyg om prestanda. Forum för Energieffektiva Byggnader (2010-08-31)

Tyskland har legat i framkant när det gäller passivhusteknik.⁵⁹ Bild 1 visar det första byggda passivhuset.



Bild 1; Det första passivhuset, Darmstadt Tyskland. Källa: <http://www.passiv.de>, (2009-04-20)



Bild 2; Sveriges första passivhus, Lindås. Källa: www.passivhuscentrum.se (2010-11-03)

⁵⁹ Passivhuscentrum (2010-10-28)

Liknande institut finns idag på fler platser runt om i Europa, som t ex Österrike, Schweiz, Nederländerna och Belgien. I Skandinavien finns institut i Norge, Danmark, Finland och Sverige. Tekniken användes för första gången i Sverige 2001 av Egnahemsbolaget som byggde 20 radhuslägenheter i Lindås utanför Göteborg, *se bild 2*. Institutet för passivhus i Sverige är stationerat i Alingsås. Centrumet erbjuder kunskap och experthjälp som en resurs för passivhusmarknadens aktörer och konsumenter.⁶⁰

6.3 Passivhusets utbredning och utveckling

Enligt statistik från april 2010 fanns följande antal bostäder med passivhusstandard i Sverige. Statistiken är grundad på information via media och personliga kontakter. Ett stort antal är endast nämnda som passivhus av byggherre, arkitekt eller dyl. och inte verifierade som passivhus.

Villor

Färdiga: 26st

Påbörjade eller planerade: 18st

Lägenheter

Färdiga: 1450st

Påbörjade eller planerade: 1344st

Radhus

Färdiga: 103st

Skolor

Färdiga skolor: 1st

Påbörjade eller planerade skolor: 2st

Förskolor

Färdiga: 2 st

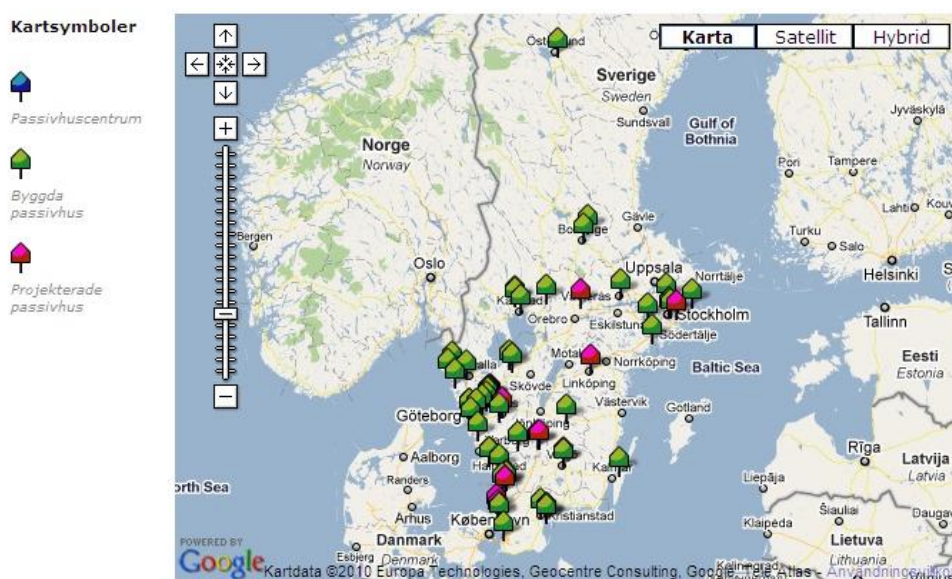
Påbörjade eller planerade: 4st

Kontor

Påbörjade eller planerade: 1st

Utöver dessa kan finnas fler som inte Passivhuscentrum känner till. Byggnaderna finns över hela landet, men flest i södra Sverige. Det passivhus som är beläget längst norrut är ett parhus i Östersund, *se figur 11*.

⁶⁰ Passivhus aktiverar Sverige. Byggindustrin (2010-10-28)



Figur 11; Bygda eller projekterade Passivhus i Sverige. Källa: *passivhuscentrum.se* (2010-11-17)

2008 färdigställdes en förskola i Alingsås och i maj respektive september 2010 förväntas förskolorna Skogslunden i Åkersberga och Skogsglantan i Kil stå färdiga.

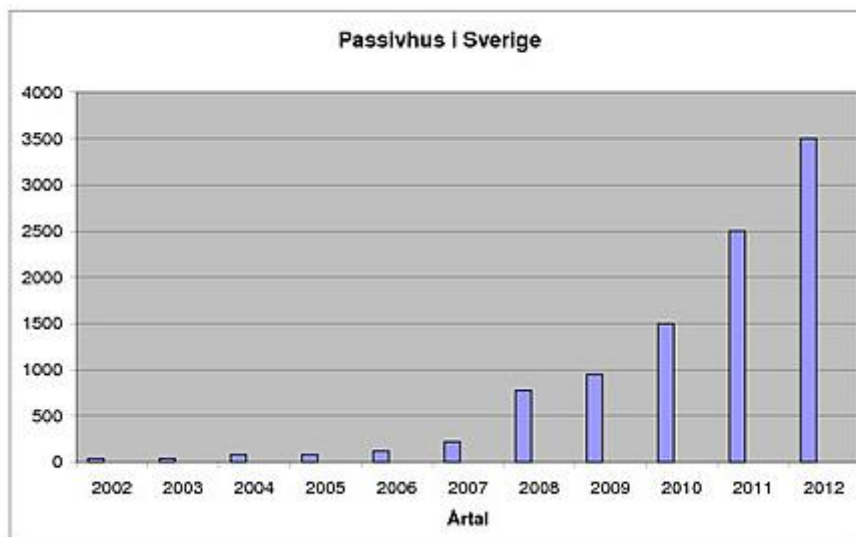
Utifrån verifierade mätningar i bruksskedet konstaterades att förskolan i Alingsås hade högre energianvändning än beräknat. Trots detta uppfylls de svenska kraven och även de hårdare tyska passivhuskraven. I Storfors kommun togs Vargbroskolan i drift i januari 2008. Dess klimatskal uppfyller inte passivhuskraven eftersom, fönsters u-värde överskrids.⁶¹

Därmed är det sagt att i dag finns endast förskolan i Åkersberga som verifierad passivhusförskola. I dagsläget finns därmed ingen verifierad passivhusskola utan Landskrona stad siktar på att bygga Sveriges första med Emiliaskolan.

Fortfarande är antalet byggnader uppförda som passivhus för de offentliga verksamheterna marginell, det finns dock några färdigställda objekt och ca 8 stycken projekt i planeringsstadiet.⁶²

⁶¹ Passivhuscentrum (2010-11-17)

⁶² Passivhus aktiverar Sverige. Byggindustrin (2010-10-28)



Figur 12; Antalet passivhus i Sverige under en 10-års period.. Källa: www.passivhuscentrum.se (2010-11-17)

Utvecklingen av antalet byggprojekt med passivhusteknik fortsätter att öka. En uppskattning på ca 3000 bostäder väntas stå klart i slutet av 2011. Siffrorna är dock inte helt och hållet bekräftade eftersom många av bostäderna ännu inte är verifierade, se figur 12.⁶³

6.4 Varför passivhus?

Den största anledning till att det byggs allt fler passivhus är att minska energianvändningen och koldioxidutsläppen. Detta kommer från att ett passivhus endast fodrar en fjärdedel av en konventionell byggnads uppvärmningsbehov.⁶⁴

Miljömålen som Sveriges riksdag har satt upp, ska nås genom skärpta BBR krav. Enbart hårdare krav är dock inte en tillräcklig insats utan det kommer att krävas mer än så för att nå målen. Sveriges byggbransch behöver se med andra ögon på tänkbara mer energieffektiva lösningar. Passivhustekniken är ett exempel på en sådan lösning. En väl fungerande passivhusteknik kräver inte enbart smarta konstruktionslösningar av byggsystemet. Andra effektiviseringar av t ex varmvattenanvändning, drift av apparater och verksamhet, effektivare system för fläktdrift och belysning programmerad och anpassad efter behov är viktiga komplement som tillsammans ger en total ökad energivinst.⁶³

⁶³ Passivhuscentrum (2010-11-17)

⁶⁴ E. Sandberg. Lokalbyggnader som passivhus (2009)

6.5 EU-direktiv om passivhus

I dag överlägger EU om att införa en passivhusstandard som norm för nybyggnation år 2016. Österrike tillämpar redan denna norm i delar av landet. Tyskland och Storbritannien avser att genomföra den år 2012 respektive 2013. För Sveriges del finns idag inget svar på frågan när det kommer att ske. I dagsläget, sedan 2008, finns än så länge ett krav på en energideklaration. Införande av en passivhusstandard kan tänkas ske tidigast om fem år.

6.6 Mervärde av Passivhus i driftskede

Passivhus ger ett hus med många fördelar, ur miljö-, funktions- samt kostnadssynpunkt:

- *Miljöanpassad*
Ur miljösynpunkt leder den låga energianvändningen till en reducerad mängd av CO₂-utsläpp. En låg energianvändning ger även en lägre energikostnad.
- *Funktionell*
Ett välbalanserat ventilationssystem med frisk och förvärmad luft ger bra luftkvalitet, jämn rumstemperatur samt en bättre och sundare miljö. Den goda komforten bidrar även till reducerade upplevelser av drag längs golv och kallras från fönster.
- *Kostnadseffektiv*
Ett tätare klimatskal ger reducerade energikostnader till följd av en lägre energiåtgång, framförallt till uppvärmning. Genom att passivhus byggs med krav på noggrannhet ges även en kvalitetssäkring av huset.⁶⁵

6.7 Skola som passivhus⁶⁶

Gentemot bostäder har skolor en större variation i ventilationsflöden och internlast. Kraven är dock detsamma för de båda då skolan kan göra besparingar när den ej utnyttjas som kompenserar för tiden när den är i bruk. Nedan följer några exempel på hur utnyttjandegraden av ett tekniskt system (värme och ventilation) höjs till följd av beläggningsfall samtidigt som ett annat reduceras.

Under natt, lov och helger när skolan inte är i bruk är internlasterna låga, detta kan kompenseras genom att uteluftsflödet stängs av. Dagtid när skolan är i bruk är ventilationsförbrukningen hög, vilket kan kompenseras av att internlasterna även är hög genom värmegivning från personer, datorer och annan utrustning. Behovsstyrd

⁶⁵ Emiliaskolan. Landskrona stad (2010-08-25)

⁶⁶ E. Sandberg. Lokalbyggnader som passivhus (2009)

ventilation är ännu en kompensation. Slutligen kan även den ökade elanvändningen för att hålla igång fläktsystemet kompenseras av att tappvarmvattenbehovet sänks.

6.8 Husets klimatskal och utformning⁶⁷

Ett bra passivhus kräver bra konstruktionslösningar. Det är viktigt att huset är tätt och har en god isoleringstjocklek för att kunna hålla värmen. Huset ska även vara fritt från fukt i byggnadsmaterial och konstrueras för att undvika köldbryggor.

Skolor som endast är i bruk under dagtid och inte har några värmelaster nattetid kan fördelaktigt byggas med en tung stomme som har en bättre lagringsförmåga av dygnsvärmen gentemot en lätt konstruktion. Fönster och dörrar med låga U-värden, dvs. med små energiförluster, bör prioriteras. En stor värmebov i klimatskalet är fönster, därför är det extra viktigt att välja en lämplig storlek samt orientering. Skolor vars ventilation är avstängd under natt och helg är i större behov av en klimatsmart formning samt väl anpassat klimatskal. En optimerad lösning är rimligen en rektangulär byggnad i fler än ett plan och att undvika alltför stora takhöjder. Genom att utnyttja de bättre alternativen blir formfaktorn, dvs. förhållandet mellan byggnadens omslutande area och dess uppvärmda area, liten. En liten formfaktor innebär i sin tur minskade energiförluster genom klimatskalet.

6.9 Installationer⁶⁷

Ventilationssystemets uppgift är att förse bygganden med frisk luft och under sommartid föra ut övertemperatur. Ventilationssystemet kan även som tidigare nämnts användas till att förse byggnaden med värme.

Det finns en stor skillnad på utformningen av ventilationssystemet i ett konventionellt hus jämfört med i ett passivhus. De konventionella systemen har inte förmågan att sänka tilluftsflödet från att vara helt i drift till att stängas av helt. Systemet riskerar då att flödet ändrar riktning och för med sig varm fuktig luft till tilluftsfilteret. Ventilationssystemen i ett passivhus ska gentemot de konventionella vara utformade på ett sådant sätt att de kan ha ventilation helt i drift eller helt avstängd när skolan står tom. Ett behovsanpassat ventilationssystem kan utföras på olika sätt, exempelvis genom jordvärme, FTX system eller reglerbara tilluftsdon.

En hög systemverkningsgrad på ventilationsvärmeåtervinningen samt utnyttjande av behovsstyrd ventilation klarar av att hantera låga utetemperaturer. Flödet av värmeförlusterna inomhus ökar i takt med att utetemperaturen sjunker, dock övervinns detta genom det värmetillskott som personbelastningen tillför.

⁶⁷ E. Sandberg. Lokalbyggnader som passivhus (2009)

Att använda behovsstyrd ventilation sänker inte bara effektbehovet utan även fläktdriftens värmeenergi- och elbehov. Idén med ett passivhus är dessutom att kunna distribuera värme genom tilluften. Tanken är att om systemet är avstängt nattid och innetemperaturen till följd sjunker, kommer den givna effekt som krävs under dagtid att öka. Lösningen blir att använda ett system som startar upp automatiskt efter inställning för lägsta tillåtna innetemperatur. Detta betyder att problemet med uppvärmning löses redan under nattid, när behov finns. På morgonen har skolans inneklimat på så vis nått önskad temperatur. Det är mestadels vintertid vid lägre utomhustemperatur som detta utnyttjas. Fördelen med systemet är att behovet av tillförd värmeeffekt reduceras.

6.10 Besparingar genom passivhus⁶⁸

Merkostnaden i produktionsskedet för ett passivhus relativt till ett konventionellt hus ligger på ett par procent. Orsakerna är framför allt klimatskalet med extrautgifter för tjockare isolering, bättre dörrar mm. Som kompensationen sparas kostnader in för radiatorer och rördragning. Eftersom det är av största vikt att husen byggs täta och fuktsäkra, tar det även ofta längre tid att bygga ett passivhus gentemot ett konventionellt, vilket också ökar kostnaden. Driftkostnaderna kommer dock i gengäld att sjunka påtagligt, på grund av lägre energianvändning, vilket leder till att på sikt sett till hela byggnadens livslängd, görs en ekonomisk vinst. Framtidens spådda ökning av energikostnader är en stor faktor till besparingar vid användning av passivhusteknik.

⁶⁸ Passivhuscentrum (2010-10-28)

7 Brukare och energianvändning

I följande kapitel redogörs posterna i en byggnads energianvändning. Vidare beskrivs samband mellan energianvändning och medvetenhet hos brukarna.

7.1 Energiposter

En byggnads energianvändning kategoriseras efter användning och beror på vilken typ av byggnad det gäller; bostäder eller lokalbyggnader. I skolor indelas energianvändningen i följande poster;

- Värmeanvändning, dvs. uppvärmning av byggnaden
- Varmvattenberedning
- Elanvändningen:
 - Verksamhetsel, dvs. el till belysning, kontorsapparater
 - Fastighetsel, dvs. el till fläktar, cirkulationspumpar, hissar, allmänbelysning etc.

En byggnads totala energibehov kan definieras med dess behov av köpt energi för att skapa ett termiskt och hygieniskt inneklimat. För skolor inkluderas köpt energi av energi avsedd för uppvärmning, varmvattenberedning, eventuell komfortkyla och fastighetsel. I BBR:s definition av energianvändning ingår inte verksamhetsel.

Det som påverkar en byggnads totala energianvändning i bruksskedet kan delas upp i inre påverkan av brukarna och yttre påverkan av klimatförhållandet. Den yttre påverkan kan människan inte råda över mer än att indirekt. Däremot kan människan påverka energianvändningen direkt genom sitt handlande i byggnaden. Handlar man riktigt leder det till ett bättre inneklimat med god komfort utan onödigt stora energianvändningar och extra utgifter. Ett optimalt termiskt och hygiensikt inneklimat är dessutom en förutsättning för en trivsamt arbetsmiljö.⁶⁹

Genom att ge brukarna kunskap om hur byggnaden fungerar och hur den var planerad att användas i projekteringen kan en god energihushållning uppnås. Det är därmed av intresse att studera den del av energianvändningen som är brukarberoende.

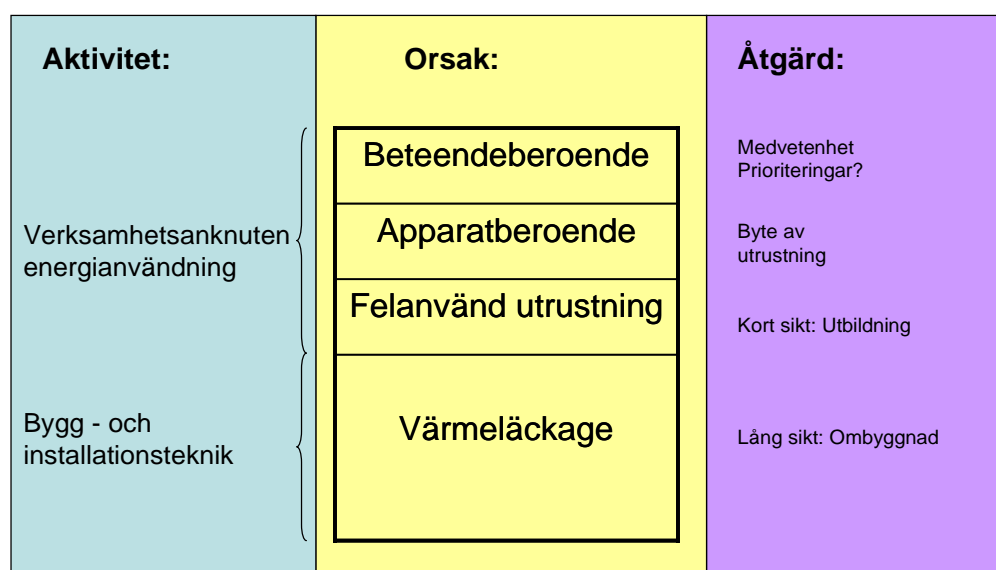
En brukare har vanligen inte samma kunskap om byggnadens och installationssystemets funktion som sakkunnig inom området. Eftersom inneklimatet

⁶⁹ B. Nordquist. Föreläsning i Inneklimat, Byggnadsteknik vid nybyggnad, VBF050, LTH (2010-10-28)

kommer påverkas av brukarens handlande är det viktigt att brukarna informeras om detta i samband med överlämnandet. Om brukaren har kunskap om byggnaden, är medvetna om hur klimatet och systemet hänger ihop ökar förståelse och tolerans till att något rum kan vara något kallare/varmare under en kortare tid på dygnet.

7.2 Dokumenterade samband mellan brukare och skolors energianvändning

I en undersökning som beställts av Statens energimyndighet och genomförts 2007 har sambandet mellan medvetenhet och skolors energianvändning studerats. I studien konstateras att värmeläckage i klimatskalet orsakar en stor del av den onödiga energianvändningen. Det finns dessutom ”energispill” som beror på verksamheten, t.ex. att utrustning används på fel sätt, eller att apparater drar mer energi än nödvändigt. Dessutom beror energispillet av beteendet hos brukarna. Värmeläckaget kan minskas genom ombyggnation men det kan vara ekonomiskt att åtgärda den verksamhetsanknutna energianvändningen. Den verksamhetsanknutna kan minskas genom utbildning, medvetna prioriteringar och byte av utrustning. I *figur 13* tydliggörs byggnadens onödiga energianvändning.⁷⁰



Figur 13; Den mest obefogade energianvändningen i en byggnad. Uppdelad på verksamhetsanknuten samt bygg - och installationsteknisk aktivitet. Källa energianvändningen i bebyggelsen IVL 2002

Energieffektiva åtgärder, elutrustning⁷⁰

För att sänka energianvändningen kan automatiska ”standby- funktioner” för, datorer och liknande stängas av nattetid, kopplas till timer eller till grenkontakter med

⁷⁰ E. Veibäck, (2007), Energianvändning i skolor,- en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i tre skolor

strömbrytare. Belysningen kan bytas till lågenergi liksom annan elutrustning kan bytas till en mer eleffektiv när det är dags för byte, som t ex vitvaror.

Energieffektiva åtgärder, brukarbeteende

Brukarna kan inverka på energianvändningen genom att släcka belysning som inte används, eller se till att rätt temperatur hålls i byggnaden. En annan energibesparande åtgärd är att koncentrera verksamheten till gemensamma lokaler då färre personer befinner sig i byggnaden och att sedan ”stänga av” de områden som inte används. Energianvändningen kan även minskas genom att vädra snabbt. Se vidare i *Bilaga 1, Vädring*.⁷¹

En jämförelse kan göras med brukarnas påverkan på energianvändningen i flerbostadshus; Om boende i var fjärde lägenhet har fönster på glänt kan ökningen av uppvärmningsbehovet uppnå 25 kWh/m². Om en byggnad har ett stort varmvattenbehov kan värmebehovet öka med 20 kWh/m².⁷² Varmvattenbehovet kan till exempel öka kraftigt i skolor med små barn, där barnen ofta glömmer stänga av vattenkranarna på toaletterna, se *kapitel 9 Resultat från möte med lärarna*.

I en rapporten *Medvetenhet i energianvändning – en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i fyra kontorslokaler*, som är framtagen från energimyndigheten, studeras sambandet mellan brukarnas medvetenhet och energianvändning i kontorslokaler. I studien identifieras fem förutsättningar eller framgångsfaktorer för att minska energianvändningen.⁷³

- 1. Drivande personer inom organisationen:** För att höja energieffektiviteten behövs en engagerad organisation. Detta kan uppmuntra genom en positiv inställning hos ledningen.
- 2. Kompetens hos driftpersonalen:** Lokalbyggnader har ofta komplext installationssystem som kräver kompetent driftpersonal med systemförståelse för energisnål drift.
- 3. Kunskap och agerande hos hyresgästen:** Energianvändningen påverkas av användarnas val av temperatur, vädring, användning av belysning och elapparatur.
- 4. Långsiktig syn på ägandet hos fastighetsbolaget:** Om fastighetsbolaget har en långsiktig planering främjas oftast livscykelperspektiv vid investeringar.

⁷¹E. Viebäck,(2007), Energianvändning i skolor,- en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i tre skolor

⁷² M. Dahlblom. Föreläsning i Värmesystem, Husbyggnads- och Installationsteknik VBFA01, LTH (201-04-29)

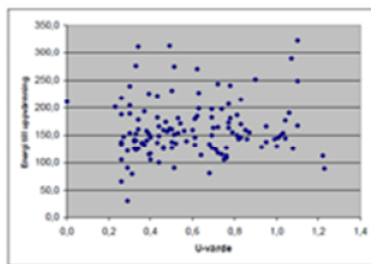
⁷³ S. Persson. E. Veibäck, (2007), Medvetenhet i energianvändning – en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i fyra kontorslokaler

Hänsyn tas då även till energianvändningen då apparater är i drift och inte bara inköpskostnaden.

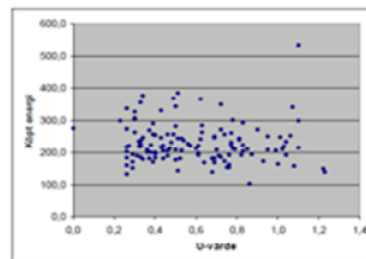
- 5. Ekonomiska incitament:** Företagets miljöpolicy eller miljöcertifikat kan vara ett incitament för att spara energi. Ibland råder så kallade delade incitament som inte är verkningsfulla för energieffektivisering. Delade incitament betyder att en part står för investeringskostnaden medan en annan sparar på energieffektiviseringen. Som t.ex. fastighetsägare som investerar i energieffektiv belysning som sänker hyresgästens elanvändning.

Stil 2 - samband mellan isolering och byggnadens energianvändning

STIL2 är ett projekt där Statens energimyndighet genom mätning och analyser tar reda på hur stor energianvändningen är, t.ex. har 129 skolor undersökts. STIL2 för skolor visar att det inte finns ett tydligt samband mellan vare sig U-värde och tillförd energi till byggnaden, *se figur 14*, eller U-värde och den totala köpta energin, *se figur 15*.



Figur 14; det finns inget samband mellan U-värde och tillförd energi till uppvärmning (kWh/m)
Källa: Statistik från STIL 2



Figur 15; det finns inget samband mellan U-värde den totala köpta energin (kWh/m)
Källa: Statistik från STIL 2

Detta visar att en byggnad är ett komplext system som behöver analyseras djupare. Om inte klimatskalet ger ett klart samband med energianvändningen måste byggandens installationstekniska system och dess brukarbeteende inverka på energianvändningen.

I Energimyndighetens studie om energianvändning i skolor påpekas behovet av kunskap i alla nivåer i skolverksamheten. Studien visar att många rektorer inte arbetar med energifrågor eftersom de saknar kunskap om vad som kan effektiviseras i den egna verksamheten och hur det går till. Däremot finns ofta ett stort intresse för miljöfrågor hos pedagogerna. I samma studie diskuteras att det krävs kompetens hos

driftpersonal som ska arbeta med ett komplext styr - och reglersystem för att nå de mest energieffektiva lösningarna.⁷⁴

Ekonomiska incitament⁷⁴

Trots att skolors fastighetsbolag oftast har en långsiktig ägandesyn genomförs inga energieffektiviseringar. Hyresgästerna betalar i vissa skolor för driften i hyran varför fastighetsägaren saknar ekonomiska incitament för att investera i energibesparande åtgärder, dvs. det ekonomiska incitamentet är delat.

Där hyresgästerna inte betalar för sin verksamhetsel, har fastighetsbolaget hela incitamentet för energieffektivisering. Här kan sparade pengar gå till andra verksamheter inom kommunen utan att skolan får ta del av besparningen. Den lösningen leder inte till att brukarna koncentrerar sig på energieffektiviseringen, då de själva inte har några ekonomiska incitament för sitt arbete.

En del fastighetsägare anser att skolans personal inte ska behöva vara experter på drift och fastighetsskötsel och därför inte behöver fundera på hur energi sparas.

Information till brukarna

Efter att ha konstaterat vilken information som är nödvändig att nå ut med till brukarna är nästa steg att hitta en effektiv metod. Den bästa pedagogiken hänger givetvis samman med brukarnas ålder, erfarenhet etc. Informationen bör vara genomtänkt för att fungera, om den blir för obegriplig eller krånglig gör den ingen nytta. Givetvis krävs ett engagemang från brukaren att vilja förstå, men lyckas man hitta ett roligt och lättförståligt sätt att föra över informationen på är man ett steg närmare på vägen.

⁷⁴ E. Viebäck,(2007), Energianvändning i skolor,- en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i tre skolor

Analys

8 Emiliaskolan

I Landskrona byggs en ny skola, lanserad som Sveriges energieffektivaste och siktar på att få Sveriges första verifierade passivhusskola. Skolan är belägen i Häljarp, söder om Landskrona och beräknas att komma i bruk hösten 2011. Skolan kommer att arbeta med Reggio Emilia pedagogiken för barn i åldrarna 1 till 10 år, och är därmed både en förskola och en lågstadieskola. I byggnaden kommer det även att bedrivas fritidsverksamhet.⁷⁵

Emiliaskolan byggs med passivhusteknik för att tekniken är miljöanpassad och funktionell, med framtidens sannolika energiprisökning är tekniken även kostnadseffektiv. Den specifika energianvändningen är projekterad till 42 kWh/m², i kriterierna för passivhus rekommenderas en maximal energianvändning på 50 kWh/m².⁷⁵

8.1 Byggnads- och verksamhetsbeskrivning

Emiliaskolan ritades av Liljewalls Arkitekter i Göteborg som har erfarenhet från tidigare passivhusprojekt, *se bild 3*.

Skolan byggs i två plan i form av ett T med en sammanlagd area på ca 3 000 m². Det nedre planet ska användas till förskoleverksamhet. Lågstadie- samt fritidsbarn kommer att ha sin verksamhet på plan två. Skolan används endast dagtid med en beräknad maximal personbelastning på 400 personer i byggnaden. Vid stängningsdags stängs delar av skolan av och barnen på respektive våning samlas till en del av skolan.

Varje avdelning har ett ”torg” för möten mellan barn och lärare. Byggnaden kommer även att rymma både storkök, kontorsavdelning samt lek- och klassrum som i projektet benämns hemvist. Vid bespisningen kommer mat endast att värmas, ingen mat kommer att tillagas i byggnaden. I skolan finns inte någon idrottsaktivitet, undervisningen är istället placerad i en närliggande skolbyggnad. Skolan har två entréer. Den stora ingången är för förskolan och har en inglasad ouppvärmad sluss. På skolan västra kortsida finns en ingång med ett uppvärmt trapphus till det övre planet och för lågstadieeleverna. Dessutom finns ytterligare två uppvärmda trapphus som endast används som utrymningsvägar, *se figur 16*.⁷⁵

⁷⁵ Emiliaskolan. Landskrona stad.(2010-11-03)



Bild 3; Emiliaskolan ritad av Liljewalls arkitekter, Emiliaskolan pdf, Källa: www.landskrona.se



Figur 16; Planritning, Emiliaskolan pdf, Källa: www.landskrona.se

Vid skolans huvudentré finns en amfiteater ämnad för evenemang. Det finns tre olika gårdar, var och en för sin åldersgrupp. Det finns ett vindskydd för de minsta att sova under samt en skolgård för de lite äldre utformad för olika aktiviteter, som t ex cykelbanor, gungor, fotbollsplan, hagar, klätterställning och sittgrupper.⁷⁶

⁷⁶ Emiliaskolan. Landskrona stad. (2010-11-03)

8.1.1 Reggio Emilia – pedagogiken⁷⁷

Emiliaskolan arbetar med en pedagogik som utgår från barnen, deras tankar och idéer. Detta banar sedan vägen för arbete och utveckling. De vuxnas roll är att vara ett stöd och medhjälpa i arbetet. Pedagogiken betonar ”lära genom att göra” med en ständig förändring på samma sätt som världen och barnet ständigt förändras.

Reggio Emilia pedagogiken ställer krav på byggnaden, t.ex. ska rummets storlek och användning kunna ändras. Inredning och möblering ska ge möjlighet att skapa rum i rummet. För att barnen ska veta vilken avdelning de tillhör har fondväggar i storum och grupperum samma färger.

I skolan har installationer och delar av byggnadskonstruktionen synliggjorts för att barn och personal ska förstå hur huset fungerar och visar t.ex. hur väggarna är uppbyggda. Tanken är att det ska skapa nyfikenhet hos barn och att lärare ska förklara husets funktioner.

8.1.2 Byggnadsteknik⁷⁸

Ett passivhus ska ha ett litet behov av köpt energi och därför ska klimatskalet vara välisolerat och tätt.

- Ytterväggarna har 390 mm isolering, varav 100 mm är en skalmursskiva. Väggarna har träreglar, alternativt stålreglar och har ett U-värde på ca 0,10 W/(m²K).
- Taket har 420 mm isolering på trapetsplåt, U-värde 0,10 W/(m²K).
- Emiliaskolans grundkonstruktion är platta på mark, isolerad med 300 mm cellplast, grunden har ett U-värde på 0,10 W/(m²K).
- Fönster i den aktuella skolan har samtliga ett U-värde på ca 0,90 W/(m²K) och uppfyller därmed fönsterkravet för passivhus.

Skolan har ett mellanbjälklag i HDF, håldäcksplattor. Betongens tjocklek i bjälklaget är 300 mm. I det tunga materialet i bjälklaget kan kyla laddas under sommarnätterna och användas för att kyla dagtid, under vintern kan istället värme laddas in dagtid. Båda leder till att mindre energi behöver köpas för att värma och kyla byggnaden.

⁷⁷ Emiliaskolan. Landskrona stad. (2010-11-03)

⁷⁸ K-ritningar och Ramhandlingar. Bygghandlingar Emiliaskolan

8.2 Installationstekniska system⁷⁹

8.2.1 Uppvärmning

Eftersom Emiliaskolan är byggd med passivhuskonceptet kan den värmas med ventilationssystemet. På vinterhalvåret under nattetid, helger och lov, när internlasterna är låga, höjs temperaturen på tilluften för att hålla en acceptabel temperaturnivå i rummen. Emiliaskolan saknar nämligen ett traditionellt vattenburet radiator- eller golvvärmsystem. Tilluften värms i första hand med värmeåtervinning ur frånluften, i andra hand med ett fjärrvärmeanslutet luftvärmebatteri. Under dagtid ska skolan inte vara i behov av köpt värme, utan värmas av sol och internlaster. Ventilationssystemet kommer att tillföra en undertempererad luft när dagtid.

Under nätter och helger behövs egentligen ingen ventilation för att hålla luften ren eftersom det inte finns några barn eller lärare i huset. Men eftersom ventilationssystemet även ska reglera temperaturen i skolan kommer ventilationen ändå att vara igång under natten. Nattetid tillåts dock rumstemperaturen att sjunka något. Några timmar innan skolan öppnar ska rumstemperaturen öka till 22°C. För att komma upp i denna temperatur behöver vissa rum högre värmeeffekt än andra.

Eftervärmning krävs om temperaturen i ett rum sjunker under inställt börvärde, tillsatsvärmes utgörs av belysning och eventuellt eldrivna eftervärmningsbatterier.

8.2.2 Komfortkyla

Med hjälp av den genomtänkta solskyddslösningen behöver inte komfortkyla köpas. Nattetid under sommarhalvåret lagrar skolan kyla i byggnadsstommen genom att kall uteluft förs in i byggnaden, detta kommer kyla byggnaden under dagtid.

8.2.3 Ventilationssystemet i Emiliaskolan

Ventilationssystemet ska både ventilera, kyla och värma och därmed kommer tilluftstemperaturen att behöva variera mellan 15°C och upp till 52°C. Systemet ska bibehålla en god inomhuskomfort och omblandning av luften under hela temperaturspannet.

Ventilationen sker med ett FTX-system av typen VAV, (Variable Air Volume) vilket innebär att luftflödet kan varieras efter behov i varje rum. Tilluftsdonen är motoriserade för att anpassa luftflödet.

Behovet av köpt värmeenergi reduceras med en roterande värmeåtervinnare, i kökets luftbehandlingsaggregat finns en plattvärmeväxlare. I normal drift när rummen används ska tilluftstemperaturen hålla ca 15-16°C. Alla rum är anslutna till samma

⁷⁹ Ramhandling Emiliaskolan (2008-09-10)

aggregat och får därmed samma tilluftstemperatur. Vid låg utetemperatur eftervärms tilluften av ett fjärrvärmeanslutet luftvärmebatteri.

För att vara säker på att klara inneklimatet även de kallaste dagarna i tomma rum har samtliga rum med tilluft förberetts för framtida installation av eleftervärmare. Eftervärmarna kommer inte att monteras under byggskedet men elsystemet dimensioneras och förbereds. Det är också tänkt att belysningen ska tändas om inte tillförd värme via ventilationssystemet räcker till. Därav finns två olika lösningar om rummen blir för kalla dagtid.

Dimensionerande ventilationsflöde i Emiliaskolan bestäms utifrån att 380 personer kan vistas i skolan samtidigt. Därmed blir det maximala ventilationsflödet 3,8 m³/s, enligt hygienkrav från BBR. Ventilationsflödet anpassas i varje rum efter aktuellt behov reglerat efter rumstemperatur, koldioxidnivå eller närvaro.

Fläktarnas SFP-värde är under 2,0 och kanalsystemet är utformat för att minimera tryckförlusterna genom att antalet böjar och krökar minskats.

Tilluftsdonen i Emiliaskolan är tillverkade av Lindinvent och systemet heter IDCC. De är placerade i taket och tillför luft horisontellt längs med taket, *för vidare förklaring om ventilationsdonen läs kapitel 8.4, Emiliaskolans tilluftsdon.*

Kanalerna på plan 1 är förlagda i undertaket medan de på plan 2 delvis förläggs synligt. På plan 1 och i fläktrummet är kanalerna isolerade med 70 mm och övriga delar med 30 mm. De synliga och isolerade kanalerna är täckta med plåt.

Placering av tillufts-, frånlufts- och överluftsdon

På plan 1 har alla klassrum och grupperum tilluftsdon och de har överluftsdon varigenom luften fortsätter till frånluftsdon i hygienrum, WC, torg (pedagogiskt kök), kapprum, städcentral etc. På plan 2 finns kontorsrum, expedition, vaktmästeri, ateljé, rörelserum, matsal och klassrum som har både tilluftsdon och frånluftsdon.

Placering av uteluftsintag och avluft

Luftbehandlingsaggregatet är placerat i teknikrummet på andra våningens västra del. Uteluftsgaller och avluftshuvar vetter åt olika vädersträck för att undvika kortslutning. I teknikrummet finns även fläkt och luftreningssystemet för att ge en frisk luft.

Ventilation i övriga rum

Köket ventileras med ett separat FTX-aggregat. Teknikrummet ventileras med uteluft och frånluft, samma gäller även för sprinklerrum. I keramikrummet har keramikugnen en frånluftskåpa.

8.2.4 Belysning

Belysningen är dagsljusreglerad och närvarostyrd. Belysningen och övriga interna värmelaster utnyttjas även till att värma skolan under dagen.

8.2.5 Varmvatten

Kallvattnet ansluts via en servis från det lokala VA-nätet där varmvattnet värms av fjärrvärme.

I Emiliaskolan finns inget varmvattencirkulationssystem, vvc, eftersom det orsakar energiförluster. Istället har man valt lokala genomströmningsberedare anslutna till el till tvättställ på WC. Elberedaren värmer i takt att varmvatten behövs. Detta betyder att långa ledningar för varmvattencirkulation inte behövs.

Tvättställsblandarna är termostatiska och med en inbyggd batteridrivna sensor. Alla blandare förutom de i köket har en begränsad vattentemperatur på 38°C och utförs med energisparläge, även WC-stolar är snålpolande.

Varmvattenförbrukning mäts; energimätare finns för både varmvatten som värms med fjärrvärme och den som bereds med el i genomströmningsberedarna.

8.3 Driftfall⁸⁰

Fyra olika driftfall har definierats som utgår från om det är vinter eller sommar, och om skolan är öppen eller stängd, se *tabell 17*.

8.3.1 Styr- och reglerprincip under sommaren

Tillsammans med personvärme och andra internlasterna som datorer och belysning är det stor risk för att inomhustemperaturen blir för hög sommartid. Vanligtvis är lokaler som skolor och kontor därför i behov av att kylas under denna tid på året. Emiliaskolan har inte projekterats med ett vattenburet komfortkylsystem. Ventilationssystemet tillsammans med nattkyla ska klara inneklimatekraven under den varma delen av året.

Dagtid

När inomhustemperaturen stiger ska den tillförda värmen minskas på följande sätt: Först ska värmeventilen stängas, därefter öppnas reglerspjällen som leder tilluften förbi värmeåtervinnaren, därefter minskas varvtalet på värmeåtervinnaren. Om inomhustemperaturen fortsätter att stiga ökar luftflödet, i annat fall minskar det. Flödet får aldrig understiga det hygieniska flödesbehovet.

⁸⁰ Ramhandling Emiliaskolan (2008-09-10)

Stängd

Under natten ska skolan kylas ut med sval nattluft. Ventilationen sätter igång när temperaturen i något rum överstiger 24°C och stängas av när rum överstiger 22°C.

8.3.2 Styr- och reglerprincip under vintertid

Under dagen är det tänkt att skolan ska värmas av barn, vuxna, belysning, datorer etc. Under natten kommer skolan att behöva värmas men inte till komforttemperatur. Enligt kravspecifikationen för passivhus tillåts tilluftstemperaturen uppgå till högst 52°C. Tilluft kan hålla lägre temperatur, men då krävs ett större luftflöde för att ge samma värmeeffekt.

Stängd

När ingen vistas i skolan behöver den inte ventileras men dock värmas vintertid. Eftersom det är ventilationssystemet som ska värma skolan startar detta när rumstemperaturen sjunker under 18°C. Tilluften består då helt och hållet av återluft för att spara energi. Ventilationen stannar när alla rum har över 19°C. Kravet är att rumstemperaturen ska vara 22°C när skolan öppnar på morgonen. En stund innan barn och lärare anländer ska tilluften utgöras helt och hållet av uteluft. Driftpersonalen ska kunna ställa in hur långt i förväg detta ska ske.

Starttemperaturen ska kunna ställas in individuellt för de olika rummen för att de rum som är svårare att hålla varma ska kunna ha en högre starttemperatur.

Dagtid

Temperaturen på tilluften håller ca 15°C, dvs. den är undertempererad jämfört med rumstemperaturen på 23°C.

Tanken är att personer, datorer, belysning osv ska värma skolan. När temperaturen inomhus är under 20°C ska rummen värmas med ventilationsluft. Det är inte säkert att alla rum som är anslutna till samma luftbehandlingsaggregat behöver värmas samtidigt. Därför monteras en eleftervärmare i tilluftskanalen till alla rum med tilluftsdon.

	Sommartid		Vintertid	
	Dagtid	Nätter, helger och lov	Dagtid	Nätter, helger och lov
Önskad rumstemperatur	21°C	21°C	23°C	18°C
Lägsta accepterade temperatur	20°C		20°C	18°C
Högsta accepterade temperatur		24°C		
Temperaturreglering	När rumstemperaturen stiger ska ventilationsflödet öka	När rumstemperaturen stiger ska ventilationsflödet öka	Vid sjunkande temperatur minskar ventilationsflödet	Vid sjunkande temperatur ökar ventilationsflödet
Tilluften består helt och hållet av	Uteluft	uteluft	Uteluft	Återluft, dvs frånluft

Figur 17; Driftfallens temperaturer

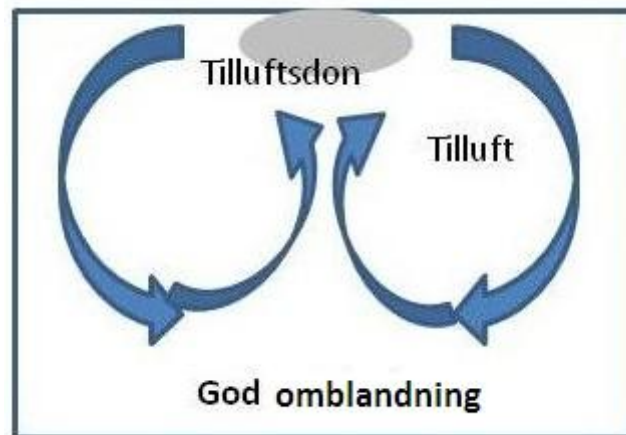
8.4 Emiliaskolans tilluftsdon

Emilaskolan ventileras med ett VAV-system, dvs variabelt luftflöde och har valt Lindinvents aktiva tilluftsdon. Normalt används dessa i t.ex. kontor för att både ventileras och kyla. I Emiliaskolan används tilluften även för uppvärmning och därmed är tilluften ibland övertempererad.⁸¹

8.4.1 Placering och utformning

Tilluftsdonen placeras i rummets tak principen är omblandande ventilation, *se figur 18*. Donen klarar att tillföra undertempererad luft både vid stora och små luftflöden. Luften tillförs horisontellt och på avståndet 1,5 m från donet har 15-gradig tilluft värmts till 21°C. Tilluftsdonens spaltöppning ändras med ventilationsflödet. Så att tilluftens hastighet och kastlängd blir den samma.

⁸¹ Ramhandling Emiliaskolan. (2008-09-10)



Figur 18; Omblandande ventilation

Ventilationsflödet varieras dels för att ge rätt rumstemperatur dels för att säkerställa att luftkvaliteten är bra. Fördelarna med den varierbara spaltöppningen är att ljud och drag från tilluftsdonet, *se bild 4*, minimeras.



Bild 4; De variabla spaltöppningarna

8.4.2 Energi och ekonomi

Med låg tilluftstemperatur klarar värmeåtervinnaren att värma luften under en stor del av året utan att behöva eftervärmas.

Forskningsresultat visar att VAV-system med undertempererad luft är energisnålare än motsvarande CAV-system. Vid simulering av ett 10 m² stort kontorsrum sparades 80 %.⁸² Kanalerna bör isoleras med omkring 70 mm för att minimera spillvärme eller ofrivillig värmning av tilluften.

8.4.3 Dimensionering

Vid dimensioneringen av kanalsystemet ska hänsyn tas till hur mycket av byggnaden som kommer att användas under samma tid. En samtidighetsfaktor kommer därför användas för att dimensionera ventilationssystemet.

⁸² Lindinvent. pdf-produktbroschyr (2010-11-05)

8.4.4 Aktiva tilluftsdon

Två typer av aktiva tilluftsdon används i Emiliaskolan; självreglerande och reglering för flera don. Luftflödet regleras efter

- Temperaturgivare placerad i donets underkant eller i frånluftskanalen
- Koldioxiddetektor

I de aktiva donen hålls utloppshastigheten konstant genom att spaltöppningens storlek varieras med en motor. Donen finns i två storlekar där luftflödet kan variera mellan 3-50 l/s eller 5-100 l/s. *Bild 5* visar ett aktivt tilluftsdon.



Bild 5; Taktilluftsdon TTD, Lindinvent. pdf-produktbroschyr (2010-11-05)

I de gemensamt reglerade donen anpassas luftflödet med ett flödesspjäll på signal från en regulator. Spaltavståndet i donet ändras efter lufttrycket i kanalen.

Genom att ansluta regulatorn till ett överordnat system, som optimerar styrningen i hela systemet, kommer fläkthastigheterna i aggregaten att bli behovsstyrda. Detta leder till att hela anläggningen optimeras.

8.5 Ventilation med övertempererad tilluft

Emiliaskolan värms med luft som tillförs med de takplacerade tilluftsdonen i huvudsak under nätter, helger och lov. Följande avsnitt tar upp problemen med att tillföra övertempererad tilluft. Temperaturgivaren som är placerad i taknivå kan också medföra problem, nedan följer två fall:

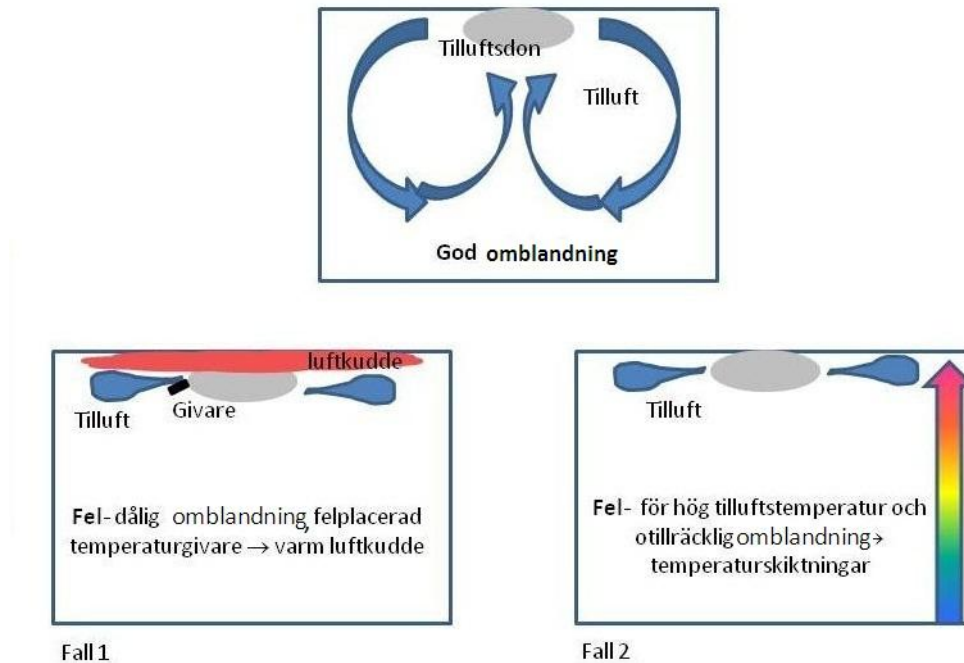
Fall 1. Placering av temperaturgivare

Temperaturgivarens placering har stor betydelse för att givaren ska visa en temperatur som överensstämmer med rumstemperaturen. Om lufttillförseln sker vertikalt med taket utan att röra sig neråt och därmed kortsluter ventilationen, tillsammans med att

placeringen av att temperaturgivare placeras i donets underkant visar givaren inte den rätta rumstemperaturen. Givarens uppgift är att skicka signaler om temperaturen i rummet för att reglera flödet därefter på tilluften. Vid en optimal omblandning är placeringen under donet utmärkt. Läger sig tilluften däremot som en kudde under taket skickar givaren ut felaktig signal om en rumstemperatur som motsvarar tilluftstemperaturen och systemet rubbas. Vid en hög rumstemperatur nära taket arbetar donet med ett lägre tilluftsflöde som inte motsvarar det riktiga värmeeffektbehovet, *se figur 19*.

Fall 2. Temperaturskiktningar i vertikalled

Används en hög tilluftstemperatur finns risk för temperaturskiktningar i höjddled. Varm luft är lättare än kall luft och stiger därför uppåt i ett rum. Den kalla luften kommer på motsvarande sätt att ansamlas nere vid golvet, *se figur 19*.



Figur 19; Problem som kan uppstå vid ventilation med övertempererad tilluft.

9 Resultat från möte med lärarna

I Emiliaskolans fall väntar lärare och elever på att den ska färdigställas så att verksamheten kan flytta in till sina nya lokaler. Lärarteamet finns alltså redan. Från lärarnas sida finns ett intresse att få veta vad det innebär att vara verksam i en skola byggd som ett passivhus. Därför har ett möte genomförts med lärargruppen. Det kan dessutom vara av vikt för beställaren att veta vilken inställning som lärarna har och vilken information om byggnaden som önskas.

Metod

Under ett möte med lärarna diskuterades begreppen passivhus, luftburen värme, energieffektivisering och brukarbeteende. Mötet inleddes med en enkätundersökning.

Resultat från diskussioner med Emiliaskolans lärarteam

Under mötets diskussion framgick att samtliga lärare vill ha mycket information om tekniken i den nya skolan. Det finns oklarheter kring begreppet passivhus och lärarna är intresserade av att få veta mera. 67 % av lärarna tycker att informationen bör nå ut till både lärare och barn. Var femte person tycker dessutom att föräldrarna bör få tillgång till informationen.

Lärarna vill veta mer om hur ventilationssystemet fungerar. Många undrar hur det kan veta hur många människor som befinner sig i rummen. Lärarna är dessutom oroliga för att värmesystemet är feldimensionerat och undrar ventilationen ibland kan värma och ibland kyla. De ställer frågor om det kommer bli för kallt om för få människor vistas i rummen eller om det kommer bli för varmt om barnen är för aktiva.

Lärarna tycker att det rimmar illa att belysningen i en skola tänds automatiskt för att hålla varmt när den är tänkt att vara energisnål och miljövänlig.

Frågor kring rumsgivare

Under mötet uppkommer frågor om hur mätningarna av inneklimatet fungerar, om koldioxidhalten kommer att mätas kontinuerligt eller vid vissa tidpunkter. De undrar också om det kommer att märkas om koldioxidgivaren går sönder.

Lärarna funderar även över hur belysningen kommer att styras och regleras. Om belysningen är kopplad till en rörelsesensor finns risken att den släcks under föräldramöten och lärarmöten där man sitter stilla. De har även varit med om att t.ex. datorer stängs av vid stillasittande arbete.

Frågor kring inneklimat

Lärarna är medvetna om att man känner komfort vid olika innetemperaturer. De upplever ofta att barnen vill ha lägre temperaturer än de själva, barnen fryser inte lika lätt. Det händer ofta att barnen är mer tunnklädda än vad lärarna själva tycker är behagligt.

Lärarna är medvetna om att barnen presterar sämre vid ett sämre inneklimat och menar att det är viktigt att vädra för att få frisk och sval luft inomhus. De märker själva av trötthet och huvudvärk vid dålig luftkvalitet.

Information om energieffektivisering

72 % av de tillfrågade lärarna kommer att inkludera energifrågor i större utsträckning i sin undervisning när de flyttat till passivskolan. Resterande 28 % kommer att använda ämnet som tidigare.

Vissa barn har gjort studiebesök på byggarbetsplatsen. Under besöket diskuterades energi och hur rummen blir varma. Barnen hoppade omkring och tävlade i vem som kunde avge mest energi.

78 % av lärarna vill ha mer information om energibesparande åtgärder. Endast 17 % tycker inte att det behövs att mer information.

Information om brukarbeteende

Idag använder samtliga lärare särskilda rutiner för sopsortering, där barnen tar del av källsorteringen till 78 % av fallen. 22 % av lärarna har barnen deltagande i rutiner i när belysningen ska släckas. 72 % av lärarna anser att de själva har rutiner för hur lampor ska hållas släckta. 56 % av lärarna har rutiner om hur teknisk utrustning stängs av när de inte används. Barnen tar ej del av det arbetet.

Lärarna tror att de kan minska energianvändning mest genom att vädra korta stunder och stänga av belysning och elapparater. Andra förslag är att hålla ytterdörrar stängda eller att sänka innetemperaturen. Automatisk belysning och automatisk avstängning av rinnande vatten på toaletterna diskuteras också. De yngre barnen glömmar ofta av att stänga av vattnet när de varit på toaletten. Genom automatisk avstängning borde mycket energi kunna sparas.

Lärarna vill gärna ha mer information om hur de kan agera energieffektivt. Till exempel vill de veta hur vädring sker på bästa sätt. De kan även samla verksamheten till en del av skolan innan stängning och under andra tillfällen då få barn är närvarande. Detta underlättar även lärarnas vardagliga arbete.

Inställning till att arbeta i ett passivhus

89 % av pedagogerna har en positiv inställning till att arbeta i ett passivhus, resterande är neutrala. De flesta anser att den viktigaste anledningen till åsikten är att det är viktigt att värna om miljön. Ett flertal är dessutom nyfikna och tycker att det är nytt och spännande. De vill vara en förebild för andra genom att vara verksamma i Sveriges första passivskola. Vissa tycker att det är viktigt att ha en personal som är medvetna om miljö- och energifrågor. Några av lärarna är oroliga för att det ska bli för kallt, medan andra tror att inneklimatet kommer bli bra.

Fortsatt Samarbete mellan pedagoger och oss examensarbetare

Lärarna är intresserade av resultat av miljöarbetet. De är positiva till ett fortsatt samarbete och vill veta hur de kan bidra till att energieffektivisera sin verksamhet.

Beräkningar & Resultat

10 Analys

I detta kapitel redovisas beräkningar och simuleringar. Kapitlet inleds med en problemformulering som ska hjälpa för att besvara arbetets frågeställning. Beräkningsverktyg presenteras i samband med att resultaten från dessa redovisas.

10.1 Problemformulering

- Uppfyller Emiliaskolan kraven för att klassas som passivhus?
 - Effektkraven kontrolleras genom beräkning enligt FEBY:s definition. För detta behövs tidskonstanten och dimensionerande utetemperatur. Samtliga delar tas fram genom handberäkningar.
- Hur snabbt sjunker temperaturen i skolans klassrum när det blir tomt?
 - Täcker belysningseffekten värmebehovet eller behövs eleftervärmare? Simulering genomförs för sex rum i Emiliaskolan. Rummen är av olika karaktär; har olika mycket ytterväggar, närvaro, storlekar samt vetter mot olika väderstreck. Eftersom temperaturgivaren är placerad i taknivå beräknas den riktade operativa temperaturen, ROT, för att bedöma luftens temperatur. Därefter beräknas hur rummet kan stå oanvänt utan värmeförsel. Klimatsimuleringsprogrammet ProClim Web har använts för att beräkna byggnadens värmetröghet och indata om ROT mot tak har framtagits med programmet Teknosim.
- Hur väl omblandas luften när övertempererad luft tillförs?
 - Simuleringar genomförs med olika kombinationer av tilluftstemperaturer och ventilationsflöden och jämför omblandningen vid olika driftfall. Temperaturgradient och omblandning simuleras i luftflödesberäkningsprogrammet FDS.
- Hur kan brukarna påverka energianvändningen?
 - Simuleringar genomförs med energiberäkningsprogrammet VIP-Energy och beräknar byggnadens energianvändning och för olika brukarbeteenden.

10.2 Analys av effektbehov

För att beräkna effektbehovet används enligt FEBY:s definition⁸³ två olika driftfall, ett för natt och ett för dag. Anledningen är att byggnaden inte är i bruk under natten och därmed finns inga interna laster som ger gratisvärme nattid. Ventilationen som är

⁸³ Kravspecifikation för Passivhus (2009)

igång i större utsträckning under dagtid medför en ökad värmeförlust och denna reducerar därmed värmeförlusten under natten. Ingen av de två driftfallens värmeeffektbehov får överstiga effektkravet på $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$ (gäller zon III). För att beräkna effektbehovet behöver den dimensionerande utetemperaturen DUT_{20} beräknas.

Den dimensionerande utetemperaturen är ett mått på hur byggnaden påverkas av extrema temperaturen utomhus. Standarden är framtagen för att acceptera att rumstemperaturen högst sjunker tre grader vid en extrem utetemperatur som infaller högst en gång var tjugonde år. För beräkningen används en framräknad tidskonstant, som ger DUT_{20} genom tabell. Tidskonstanten, τ_b , mäter hur lång tid det tar för byggnaden att reagera på hastiga temperaturförändringar utomhus eller vid avbrott av tillförd värme inomhus.

Tidskonstanten beräknas som kvoten av byggnadens värmekapacitet, som är ett mått på byggnadens värmelagringsförmåga, och transmissionsförluster genom klimatskalet samt effektförluster som beror av köldbryggor, ofrivillig luftläckage och ventilation.

Ekvation för beräkning av tidskonstant:

$$\tau_b = \frac{\sum(m_i \cdot c_i)}{\sum(U_j \cdot A_j) + \sum(l_k \cdot \psi_k) + \rho \cdot c \cdot q_{\text{vent}}(1-v) \cdot d + \rho \cdot c \cdot q_{\text{läck}}}$$

$\sum(m_i \cdot c_i)$	byggnadens värmekapacitet, inkluderar materialskikten som ligger innanför isoleringen, innerväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]
$\sum(U_j \cdot A_j)$	de summerade transmissionsförlusterna, U_j , med hänsyn till den invändiga ytan, A_j , mot uppvärmd luft [W/K]
$\sum(l_k \cdot \psi_k)$	värmeeffektörluster beroende av linjära köldbryggor [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{\text{vent}}(1-v) \cdot d$	värmeeffektörluster som beror av ventilationsförluster, med hänsyn till temperaturverkningsgrad, v , och relativ drifttid, d [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{\text{läck}}$	värmeeffektörluster pga. luftläckning [W/K]

Effektbehovet beräknas som summan av byggnadens värmeförluster via transmission och ventilation vid dimensionerande utetemperatur. Den interna spillvärmens som medräknas under dagfallet sätts till ett schablonvärde, där apparater maximalt avger 5 W/m^2 lokalarea och personer maximalt 70 W/person . Ventilationens

värmeeffektförsluster tas även hänsyn till i beräkningen. Vädring och solinstrålning bortses från eftersom det är vid DUT som beräkningen utförs.

$$P_{\max} = P_{\text{byggnad}}$$

$$P_{\text{byggnad}} = \left(\frac{\left(\sum (U_j \cdot A_j) + \sum (l_k \cdot \psi_k) + (q_{\text{läck}} + q_{\text{vent}}(1-v))\rho \cdot c \right) \cdot (20 - DUT_{20}) + \sum (U_m \cdot A_m) \cdot (20 - T_{\text{mark}}) - P_{\text{intern}}}{A_{\text{temp}}} \right)$$

$\sum(U_m \cdot A_m)$ summan av transmissionsförslusterna med hänsyn till invändig yta mot mark, och markens temperatur. [W/K]

P_{intern} internt genererad värme

10.2.1 Beräkning av dimensionerande utetemperatur enligt FEBY⁸⁴

I FEBY finns ett förenklat sätt att bestämma tidskonstanten för en byggnad utifrån dess värmetröghet. En byggnad med betongbjälklag och lätta utfackningsväggar kategoriseras som halvtung vilket enligt SS 02 43 10 ger tidskonstanten 300 timmar, detta ger $DUT_{20} = -6,5^{\circ}\text{C}$. FEBY använder DUT_{20} definierad enligt SS 02 43 10 för att bestämma en byggnads effektbehov vilket skiljer sig något från DVUT enligt BBR.

DUT₂₀ natt

DUT_{20} och värmeeffektbehovet beräknas för ett nattfall, *se bilaga 2*. Under natten ventileras skolan med återluft Enligt beräkningen är tidskonstanten 401 h och DUT_{20} för Emiliaskolan blir $-6,5^{\circ}\text{C}$.

DUT₂₀ dagtid

DUT_{20} och värmeeffektbehovet beräknas för ett dagfall, *se bilaga 3*. Under dagen ventileras skolan med uteluft som förvärms i en återvinnare med temperaturverkningsgrad på ca 80 %. Ventilationsförslusten minskar där med mycket i jämförelse med ett system utan värmeåtervinning. Förslusten blir dock större än för nattfallet. Beräkningen ger en tidskonstant på 145 h och DUT_{20} för Emiliaskolan blir $-9,7^{\circ}\text{C}$.

Bestämning av dimensionerande utetemperatur

Enligt beställarens anvisning är dimensionerande utetemperatur $DUT_{20} -16^{\circ}\text{C}$ vid projektering av Emiliaskolan.

För beräkningar av byggnadens effektbehov används de beräknade effektbehoven från FEBY, DUT_{20} dagtid är $-9,7^{\circ}\text{C}$ och DUT_{20} för natten är $-6,5^{\circ}\text{C}$.

⁸⁴ Kravspecifikation för Passivhus (2009)

Vid datorsimuleringar och beräkningar där DUT_{20} är av betydelse utförs därför i detta arbete beräkningarna med de båda värdena på DUT_{20} .

Rummets värmeeffektbehov beräknas för två olika värden på den dimensionerande utetemperatur, för eventuella skillnader. Beräknade $-6,5^{\circ}\text{C}$ och enligt ramhandlingskrav -16°C .

10.2.2 Emiliaskolans effektbehov jfr med FEBY: s krav

Internvärme

För dagfallet accepteras att den interna värmen sätts till 5 W/m^2 lokalarea (LOA), och 70 W/person . Detta är det maximala värdet enligt FEBY. Skolor anses ha en hög personnärvaro.

Effektbehov, natt

Det beräknade effektbehovet för nattfallet är $7,0 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$, med återluftförling och DUT_{20} är $-6,5^{\circ}\text{C}$, se bilaga 4.

Effektbehov, dag

Effektbehovet enligt FEBY är på $7,6 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$ med ventilation enligt dagfallet, intern värmelast enligt ovan och $DUT_{20} - 9,7^{\circ}\text{C}$, för beräkning se bilaga 4.

Jämfört med FEBY:s effektkrav

Detta betyder att effektbehovet i Emiliaskolan uppfyller kravet för att klassas som passivhus om ovannämnda dimensionerande utetemperaturer används. För en jämförelse har kraven kontrollerats med den dimensionerande utetemperatur angivet i ramhandlingen; $DUT_{20} - 16^{\circ}\text{C}$:

Med ventilation som på natten blir effektbehovet $9,24 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$, och för dagfallet fås ett effektbehov på $12,9 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$. Kravet för att klassas som passivhus kommer därmed inte att uppfyllas med dimensionerande utetemperatur -16°C . Temperaturen är dock antagligen fastställd utan hänsyn till FEBY:s beräkningssystem med $DIT 20^{\circ}\text{C}$ och hänsyn till interna värmelaster.

10.2.3 Beräkning av värmeeffektbehovet som vid VVS-projektering

Effektbehovet beräknas för några driftfall som kan bli aktuella under ett normalt vinterdygn:

- Under natten
- Under dagen
- Under några timmar innan skolan öppnar

Metod

Tilluftsflödet är variabelt beroende på temperaturbehov och/eller personnärvaro i respektive rum.

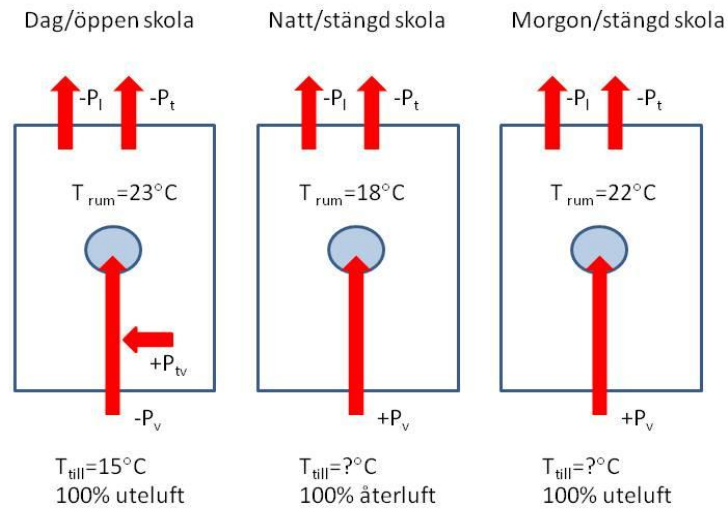
Rummets värmeeffektbehov under en vintermorgons uppvärmning beräknas både utifrån $DUT_{20} - 16^{\circ}\text{C}$ och utifrån $- 6,5^{\circ}\text{C}$.

Figur 20 åskådliggör ett rums effektbalans beroende för vilken tid på dygnet som den beräknas.

Följande beteckningar används i effektbalansen:

- P_t = transmission
- P_l = luftläckage
- P_v = ventilation

$$\left. \begin{array}{l} P_b = \text{belysning} \\ P_{el} = \text{elvärmarens effekt} \end{array} \right\} P_{tv} = \text{tillsatsvärme } (P_{el} + P_b)$$



Villkor

$$\boxed{0 = P_t + P_l + P_v + P_{tillförd}} \quad P_{tillförd} = P_t + P_l + P_v \quad P_{tillförd} = P_v = P_t + P_l \quad P_{tillförd} = P_v = P_t + P_l$$

Figur 20; Effektbalans i ett godtyckligt rum

Förklarande text till figur 20 ges nedan.

Nattdrift när skolan är stängd

Under natten ventileras skolan med återluft som vid behov värms med fjärrvärme. Rumstemperaturen tillåts sjunka till 18°C. Genom att öka ventilationsflödet höjs rumstemperaturen. Tilluften är därmed övertempererad och ventilationen ger ett värmetillskott till rummet.

Dagdrift när skolan är öppen

Ventilationseffekten, P_v , under dagen tillförs med uteluft. För att hålla 23°C i rummet ökas luftflödet vid en minskande temperatur och tvärtom. Sjunker rumstemperaturen under 20°C sätts en lokalt placerad tillsatsvärme igång som består av belysning och eventuellt lokala elvärmare. Tilluftstemperaturen, T_{till} , sker med undertempererad luft och ventilationseffekten, P_v , inverkar negativt och ger ett ökat behov av tillförd effekt till rummet.

Morgon/stängd skola

Temperaturen i rummet ska vara 22°C när skolan öppnar. Tilluftsflödet ökas vid behov för att höja rumstemperaturen. T_{till} är därmed övertempererad och P_v ger ett effekttillskott till rummet. Under natten används återluft men en viss tid innan skolan öppnar övergår återluft till uteluft.

10.3 Analys av temperaturfall i tomma rum

Under morgonen kommer Emiliaskolan att värmas så att temperaturen är 22°C i rummen när skolan öppnar, sedan används istället 15-gradig tilluft. Om ett rum står tomt för länge kan rumstemperaturen i rummet komma att sjunka, om den sjunker till 20°C krävs värmetillförsel. Tanken är att belysningen ska värma rummet och den tänds automatsikt om rummet blir för kallt. Men, kommer det är räcka med belysningseffekten för att värma rummen? Eller kommer tillsatsvärmerna, i form av lokala elvärmare att behöva installeras?

10.3.1 Metod

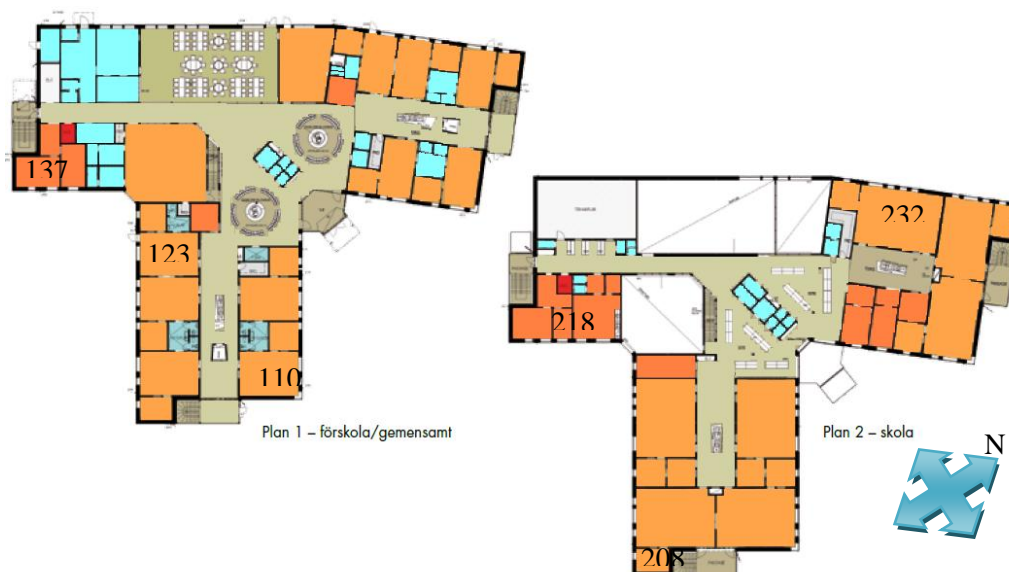
För att simulera det termiska klimatet i Emiliaskolan används datorverktyget ProClim Web. ProClim Web är ett beräkningsverktyg för inneklimat och används för att ta reda på ett rums kyl- eller värmeeffektbehov. Alternativt kan resulterande inneklimat beräknas. Indata som krävs är byggnadens egenskaper hos stomsystem, geometri, orientering, belysning, fönstertyp, ventilationssystem, tilluftstemperatur, internvärme och drifttider.⁸⁵ ProClim Web kan ej simulera varierande luftflöden och tilluftstemperatur.

I beräkningarna antas skolan öppna klockan 07.00 och att temperaturen då är 22°C enligt verksamhetens krav. Om rummen inte används sjunker temperaturen och när

⁸⁵ ProClim Web (2010-09-14)

den kommer ner till 20°C börjar värme tillsättas genom tillsatsvärme. Beräkningen klargör hur snabbt temperatursänkningen sker.

Beräkningen sker för ett vinterfall med både DUT_{20} -6,5°C och -16°C och för sex olika rumstyper, storlek eller orientering. *se figur 21*, sammanlagt 12 beräkningsfall.



Figur 21; visar placering av de simulerade rummen.

Studerade rummens storlek och användning redovisas i *tabell 2*.

Rum nr:	Användning	Area (m ²)	Riktning	Plan	Dimensionerande antal personer
110	Hemvist	34	Ö	1	22
123	Hemvist	34,7	SV	1	22
137	Konferensrum	17,5	S	1	12
232	Storrum	47,6	NV	2	25
208	Grupprum	9,9	S	2	5
218	Kansli	7,7	SÖ	2	1

Tabell 2; storlek, riktning, våningsplan och dimensionerad personbelastning för de simulerade rummen

Indata till beräkningarna i ProClim Web finns i *bilaga 5*.

10.3.2 Beräkning av riktad operativ temperatur

Beräkning av effektbehovet i ProClim Web kräver indata om rummets riktade operativa temperatur, ROT, mot tak. Detta beräknas i Teknosim.

Teknosim är likt ProClim Web ett program för att ta reda på det termiska inneklimatet i ett rum. Genom att bygga upp en modell av ett rum eller en byggnad i programmet och välja väggar, tak, golv, fönster, ventilation, gällande uteklimat etc. kan inneklimatet, exempelvis ROT beräknas.

Under morgonen ska rumstemperatur öka till 22°C vilket sker med övertempererad tilluft. Eftersom både tilluftsdon och temperaturgivare är placerade vid taket, är det temperaturen närmast taket som kommer att mätas. Med varm tilluft är risken stor att det skapas en varmluftskudde strax under tilluftsdonen, därmed är det mer riktigt att temperaturen mäts vid taket än rummets medeltemperatur eftersom det är den temperatur som givaren kommer att känna av. I ProClim Web registreras dock inte takets temperatur utan endast operativ temperatur, riktad operativ temperatur och rummets medeltemperatur. Av den anledningen beräknas den riktade temperaturen mot taket i Teknosim, med en känd taktemperatur. När ROT kommit upp i samma temperatur i ProClim Web räknas rummet som uppvärmt.

ROT beräknas i samtliga av de sex valda rummen. I simuleringen har varmt tak används för att illustrera varm ventilation i taknivå.

Simuleringar utförs för samtliga sex rum. Simuleringarnas resultat på ROT mot tak kan avläsas i tabellen, *se tabell 2*. ROT mot tak hamnar runt 21°C, ett värde mellan rummets medeltemperatur och rumstemperaturreglerns inställning.

10.3.3 Resultat

Effektbehov, temperaturer och tid för temperatursjunkning redovisas *i tabell 3*.

Tiden när den operativa temperaturen dvs. den upplevda temperaturen, understiger 20°C, noteras i graferna. Eftersom temperaturgivaren är placerad i tilluftsdonets underkant och inte känner av värmestrålning noteras klockslaget när medelluftstemperaturen understiger 20 °C.

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

RUM		EFFEKTBEHOV enligt effektbalans	TEKNOSIM		PROCLIM		
beteckning	riktning	DUT ₂₀ = -16° C (W)	T rum	ROT mot tak	Tmedel (utifrån ROT)	Tmedel < 20° C	Opertiv T < 20° C
110	Ö	562	21	21,3	21,0	08:00	14:00
123	SV	399	21,4	21,6	21,5	(lägst 20,7 kl:10:00)	(lägst 20,9 kl:10:00)
137	S	205	21	21,3	21,5	07:20	07:45
232	NV	632	21,4	21,4	21,6	08:30	09:30
208	S	247	21	21	21,1	08:20	09:10
218	SÖ	54	21,2	21,2	21,3	09:00	11:00
beteckning	riktning	DUT ₂₀ = -6,5° C (W)	T rum	ROT mot tak	Tmedel (utifrån ROT)	Tmedel < 20° C	Opertiv T < 20° C
110	Ö	418	21	21,3	21,2	09:30	(lägst 20,1 kl:17:00)
123	SV	297	21,4	21,6	21,5	(lägst 20,6 kl:09:30)	(lägst 20,9 kl:09:30)
137	S	153	21	21,3	21,5	07:30	09:20
232	NV	470	21,4	21,4	21,6	09:30	12:00
208	S	184	21	21	21	09:20	10:45
218	SÖ	40	21,2	21,2	21,3	10:30	15:00

Tabell 3; Beräknade värden för ROT och tidpunkt för när Tmedel sjunker under 20°C

Följande kan konstateras:

- I rum 110, 137, 232, 208 och 218 sjunker temperaturen under 20°C. Detta sker oavsett om DUT₂₀ -16°C eller DUT₂₀ -6,5°C används.
- Vid DUT₂₀ -6,5°C sjunker temperaturen under 20°C 1,5 - 2 timmar senare än vid DUT₂₀ -16 °C.
- I samtliga ovannämnda rum sjunker temperaturen under 20°C på förmiddagen.

Andra slutsatser som konstateras för de analyserade fallen:

- Temperaturen sjunker snabbare i hörnrum än i andra rum.
- Ingen märkbar skillnad på temperatursänkningen för liknande rum placerade på annat plan.
- I rum med större andel fönster sjunker temperaturen snabbare.

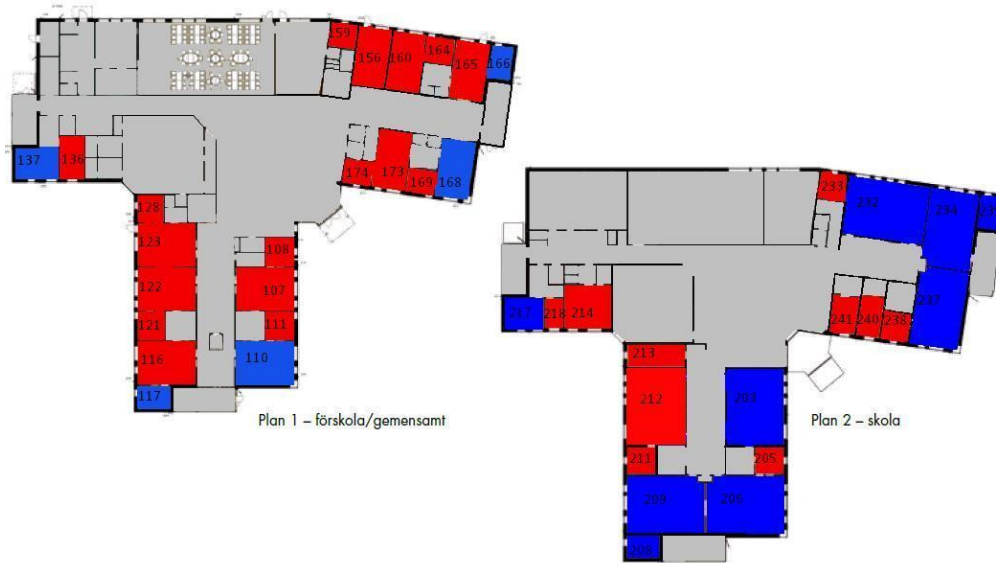
Temperaturen i hörnrum som inte används direkt på morgonen sjunker relativt snabbt ner till 20°C. Temperaturen kommer dock inte bli lägre än 20°C eftersom tillsatsvärmen slås på. Det visar dock att dessa rum är känsliga för hur de används vintertid.

Behov av tillsatsvärme

Tillsatsvärme behövs i de rum som underskrider lägsta accepterade temperatur 20°C. Tillsatsvärmen utgörs av belysning och vid behov i bruksskede används även eleftervärmare. En undersökning har därför klagjort vilka rum som ej klarar att hålla en behaglig temperatur endast genom belysningens hjälp. Installerad effekt för belysningen är 12 W/m² som kan översättas i direkt värmeeffekt.

Undersökta rum har markerats i *figur 22* nedan. Resterande har jämförts med de simulerade och kategoriserats utifrån temperaturförlopp.

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet



Figur 22; rumsindelning av Emiliaskolan, Rödmarkerade rum är värmetröga, Blåmarkerade rum kyls av snabbt, Gråmarkerade rum har inte utvärderats.

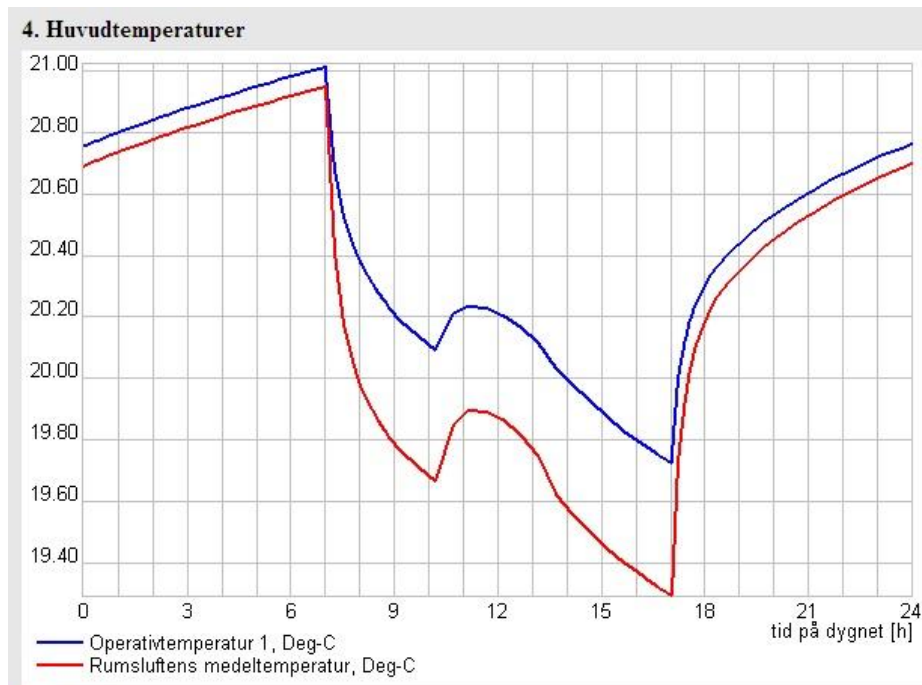
Av de rum som kyls ner snabbt noteras det beräknade effektbehovet i W/A_{temp} för en $DUT_{20} -6,5^{\circ}C$ och $-16^{\circ}C$, se tabell 4.

Rum	Fönsterorientering	Rumsbeskrivning	Antal ytterväggar	Effektbehov vid $DUT_{20} -6,5^{\circ}C$ [W/Atemp]	Effektbehov vid $DUT_{20} -16^{\circ}C$ [W/Atemp]
137	SÖ	Konf.rum	2,5	16,9	20
217	SÖ	Rektor	2,5	17,9	22,5
110	NÖ	Hemvist	2	15,2	19,3
206	NÖ	Storrum	2	6	7
168	NV	Hemvist	2	12,1	15,1
232	NV	Storrum	1	10,2	12,8
235	NV	Grupprum	3	22,2	28,7
166	NV	Grupprum	3	19,8	25,4
203	NV	Storrum	1	6,9	8,1
234	NV	Storrum	1,5	12,4	15,3
117	SV	Grupprum	3	19,8	25,4
209	SV	Storrum	1,5	9,8	12
208	SV	Grupprum	3	22,2	28,7
237	SV	Storrum	2	13,4	16,6
212	SV	Storrum	1	11,2	13,9

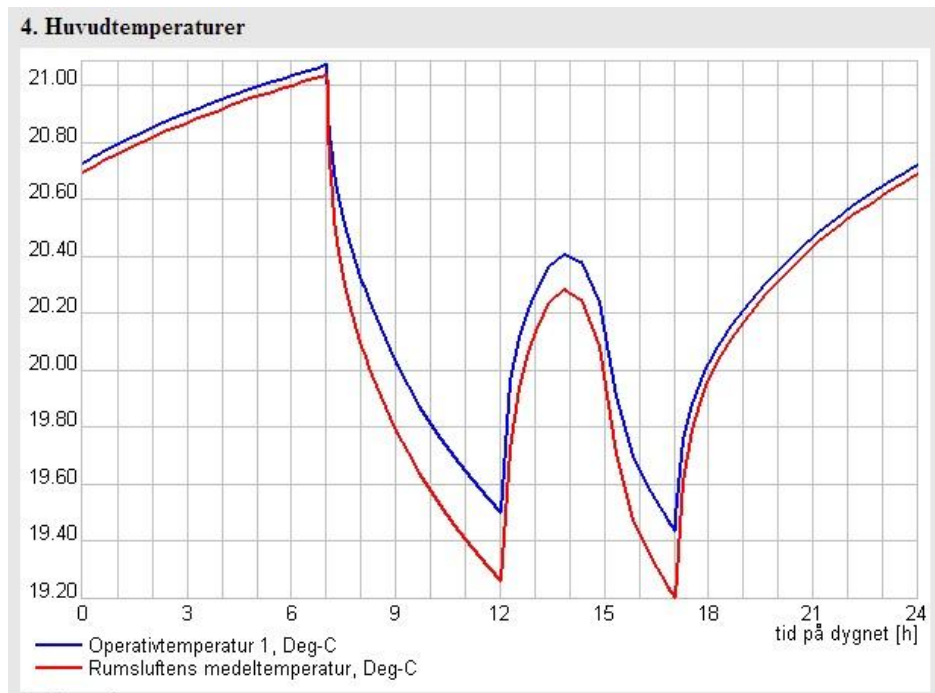
Tabell 4; Lista över rum i skolan som kyls ner snabbt under $20^{\circ}C$.

Markerade rum i tabellen visar de med större värmeeffektbehov än installerad belysning, dvs. 12 W/m^2 . Dessa rum kommer således att vara i behov av eleftervärmare.

Inverkan av solvärmestillskott eller väderstreck har inte inkluderats i effektbehovet i *tabell 4*. Eftersom rumsluftens medeltemperatur i rummet sjunker under 20°C redan på förmiddagen ger solinstrålningen inget större värmestillskott även i *tabell 3*. ProClim Web tar dock hänsyn till solinstrålning vilket betyder att en uppföljning av det fortsatta temperaturförloppet i rummet under dagen bör utföras för att tolka effektbehovssiffrorna rätt. Resultat från simuleringar av rum 110 och 208 vid $\text{DUT}_{20} - 16^\circ\text{C}$ kan ses i *figur 23 och 24*.



Figur 23; Temperatur i huvudhöjd i rum 110 med nordöstlig riktning vid $\text{DUT}_{20} - 16^\circ\text{C}$



Figur 24; Temperatur i huvudhöjd i rum 208 med sydvästlig riktning vid $DUT_{20} -16^{\circ}\text{C}$

Vid en jämförelse konstateras att rum 208 får ett betydligt större solvärmertilskott under dagen än rum 110. Det beräknade värmeeffektbehov för rum 208 på $28,7 \text{ W/A}_{\text{temp}}$ betyder därför inte rakt av att $16,7 \text{ W/A}_{\text{temp}}$ fattas efter bortdragen värmeeffekt från belysningen på $12 \text{ W/A}_{\text{temp}}$ utan att en del av värmeeffekten kommer att tillföras genom solvärme. Temperaturnedgången under förmiddagen övergår i en temperaturhöjning under eftermiddagen.

De rum som kyls snabbast och som håller en kall temperatur under dagen är de som är orienterade mot norr och placerade i husets ytterdelar. Rum 110, 166, 168, 234 och 235 hör till denna grupp och kommer förmodligen att behöva eleftervärmare i framtiden.

10.4 Analys av tillförsel av övertempererad tilluft

Datorprogrammet FDS används för att utvärdera klimatet i Emiliaskolans rum när övertempererad tilluft tillsätts genom takplacerade tilluftsdon. Programmet granskar temperaturvariationer i höjdlid samt omblandningen i rummet. Tilluftens förmåga att blandas med rumsluften beror av temperaturer i rummet och tilluften, tilluftsflödet och luftens impuls. Utvärderingen görs för att undersöka om valet av tilluftstemperatur och flöde gör skillnad för rumsklimatet.

10.4.1 Metod

FDS (Fire Dynamics Simulator) är ett datorprogram för simulering av luftflöden. Programvaran använder Navier – Stokes ekvationer som är lämpliga för låga hastigheter, termisk strömning, med betoning på rök och värme från bränder. Simuleringens resultat visualiseras genom SMV (smokeview). FDS körs genom kommandoraden och parametrarna skrivs som textfil.⁸⁶

Studerade driftfall

I passivhus finns krav på att tilluftstemperaturen inte får överskrida 52°C. BBR rekommenderar dock att max använda en tilluftstemperatur på 35°C för att erhålla ett godtagbart inneklimat. Men vilken maximal tilluftstemperatur ska accepteras? Om en lägre väljs behövs ett större ventilationsflöde för att klara värmebehovet, och omvänt kan en högre temperatur kan ett lägre flöde väljas för att täcka värmeeffektkravet. Beräkning av kombination ventilationsflöde och temperatur sker med:

$$P_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v \cdot (T_{inne} - T_{till}).$$

För att ge ett specifikt flöde måste därmed flödet ändras i relation till tilluftstemperaturen.

För en jämförelse har 30°C och 52°C luft analyserats. Väljs en ännu lägre temperatur, blir följden att vissa rum går under minflöde vilket omöjliggör lösningen att sänka tilluftsflödet om rummet blir allt för varmt.

Rum 110 har valts till simuleringen. Det har två tilluftsdon och ett överluftsdon, samtliga i taknivå. Enligt beräkningar har rum 110 ett effektbehov på 540 W vid dimensionerande utetemperatur -16°C.

Vid beräkning av erforderlig effekt i de enskilda rummen sätts tilluftstemperaturen till 30°C respektive 52°C, vilket ger tilluftsflöde på 50 l/s respektive 15 l/s, för en dimensionerande innetemperatur på 21°C.

DUT₂₀ vintertid sätts till -16°C, vilket anses vara det värsta fallet. Starttemperaturen i rummet är 18°C, eftersom det är den lägsta temperatur som tillåts för det nattliga driftfallet. Eftersom temperaturgivaren sitter i taknivå finns risk att temperaturen i rummet är lägre än 18°C redan vid simuleringens början, men eftersom simuleringens mening är att utskilja om temperaturskiktningar uppkommer i rummet beroende av den varma tilluften har detta bortsetts. Om temperaturskiktningar skulle finnas i rummet redan vid försökets början skulle inverkan av tilluften vara svårare att bevisa.

⁸⁶ FDS (2011-01-10)

10.4.2 Resultat

Resultatet redovisas i *figurerna 25-42*, som visar temperaturskiktningar i rummet med tilluftstemperatur på 30°C respektive 52°C. Dessutom redovisas temperaturändringar över tid i grafisk form på olika höjder i rummet.

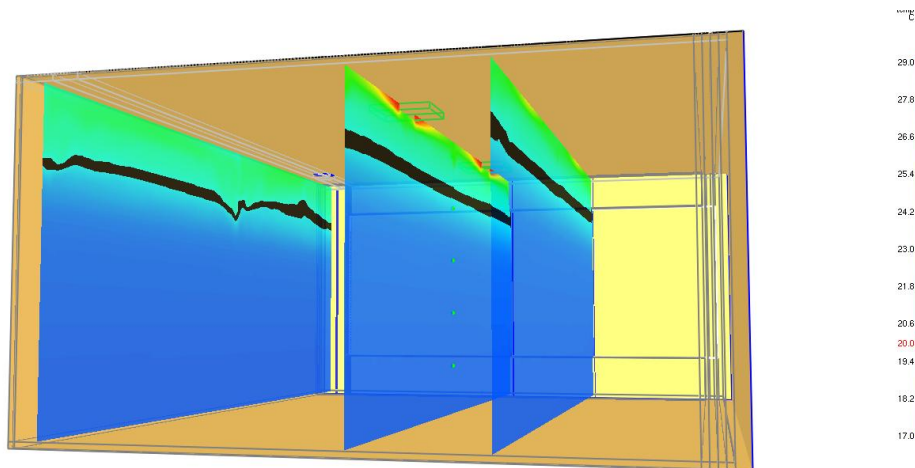
Temperaturförlopp i SMV

Omblandningsförloppen för tilluftstemperaturerna, 30°C och 52°C, illustreras genom en serie figurer vid olika tider efter start; 0,5, 1, 1,5 och 2 timmar. Temperaturförändringen och flödesutvecklingen i rummet ska jämföras. I de 3-dimensionella *figurerna 25, 27, 29, 31,33, 35, 37 och 39* visar svarta markering där tilluftstemperaturen är 20°C i 3 skikt i rummet. I *figur 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38 och 40* visas 22°C, 20°C samt 18°C rumsluft med markeringen.

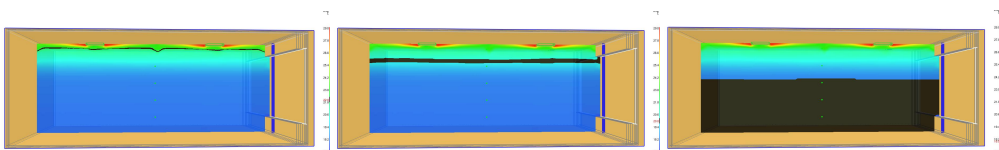
Efter 30 minuter

Nedan visas resultatet 30 minuter efter tilluftstemperatur på 30°C och 52°C.

30 °C:



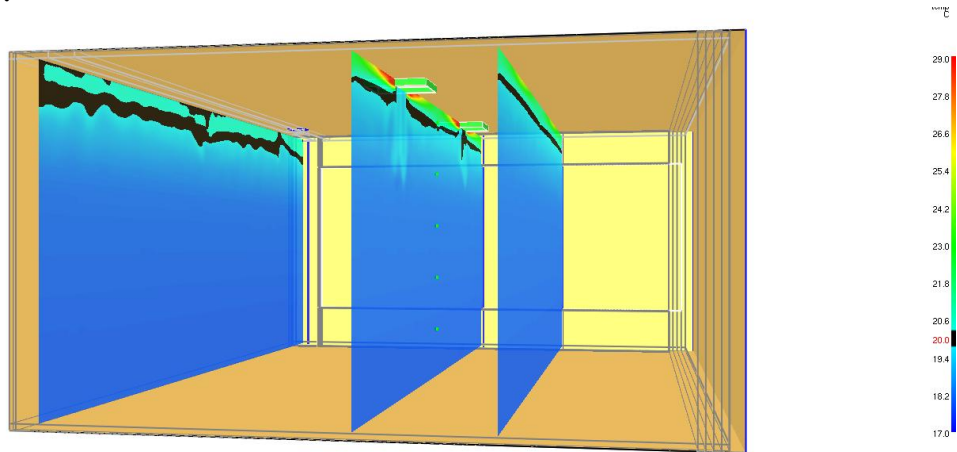
Figur 25; Simulering 30 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20°C.



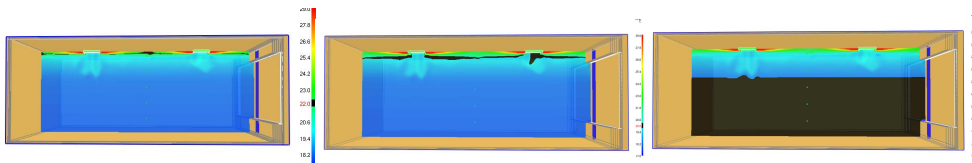
Figur 26; Simulering 30 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 22, 20 samt 18°C.

De gröna prickarna i rummets mitt visar höjderna 0,5, 1, 1,5, 2 och 2,5 meter. 20°C-luften är efter 30 minuters ventilation på 2 meters höjd enligt *figur 25*. I *figur 26* ses att temperaturen fortfarande är 18°C från golvet på 1,5 meters höjd.

52 °C:



Figur 27; Simulering 30 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20°C.



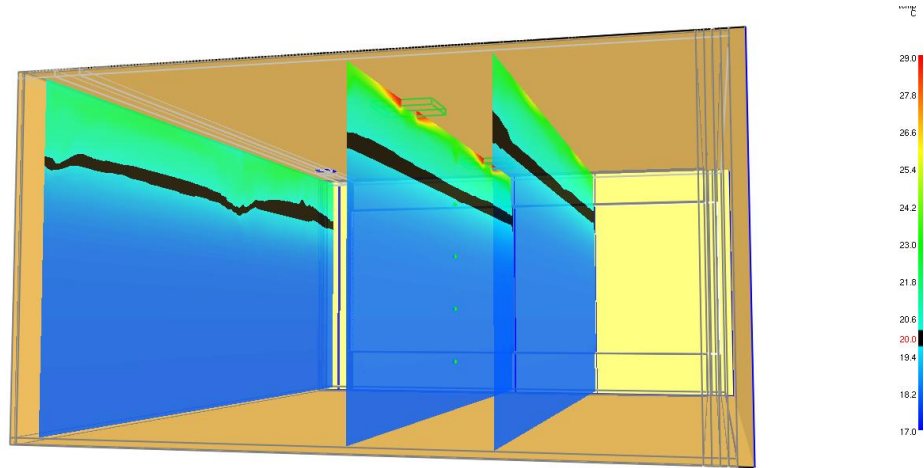
Figur 28; Simulering 30 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 22, 20 samt 18°C

Med 52°C-tilluften är rummets temperatur 20°C vid 2,5 meter över golvet enligt figur 27. Figur 28 visar att rummet är 18°C varmt upp till 1,7 meter över golvet.

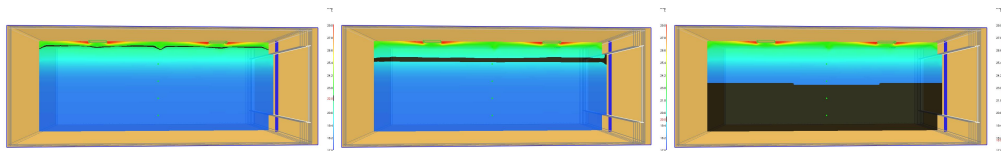
Efter 60 minuter:

Nedan visas resultatet 60 minuters tillförsel av luft med en temperaturen 30°C och 52°C.

30 °C:



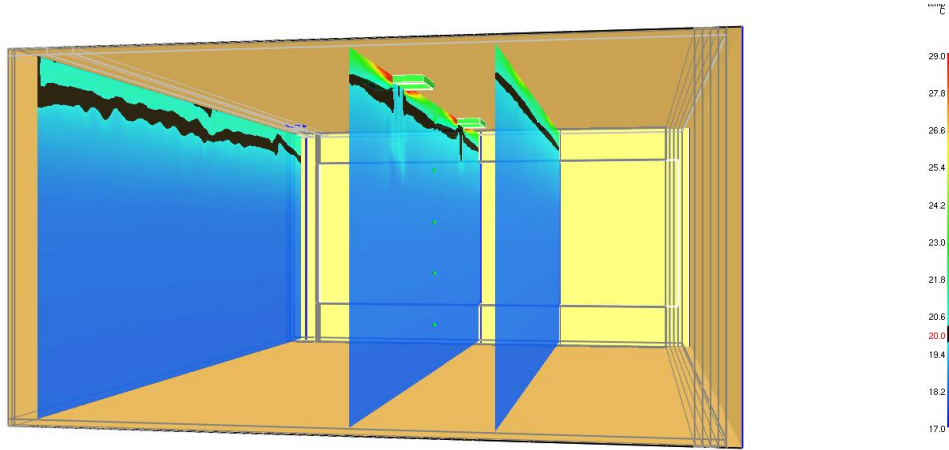
Figur 29; Simulering 60 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20 °C



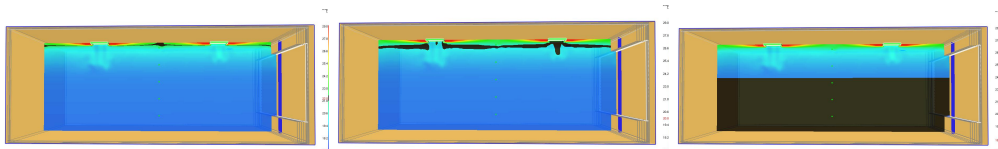
Figur 30; Simulering 60 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 22, 20 samt 18 °C

När den övertempererade tilluften varit igång i en timme ligger gränsen för 20°C-luften på 2 meters höjd, enligt *figur 29*. Temperaturen har i stort sett inte blivit högre längre ner i rummet jämfört med rumstemperaturen vid 30 minuters simulering. Området för 18 gradig luft har dock minskat något och ligger nu på 1,5 meter över golvet, *se figur 30*.

52 °C:



Figur 31; Simulering 60 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20 °C.



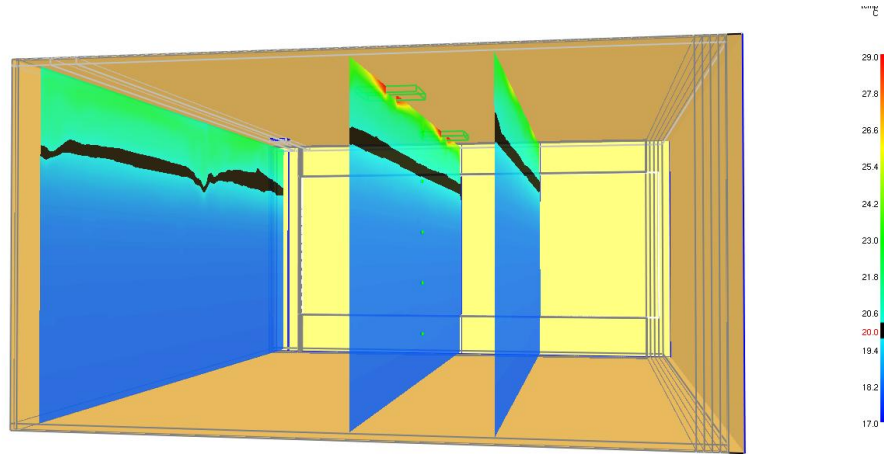
Figur 32; Simulering 60 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 22, 20 samt 18 °C

För den 52°C-tilluften sker, likt den 30-gradiga luften, ingen större skillnad för höjden där temperaturen i rummet är 20°C, se figur 31. Vid en timmes tid är 1,5 meter av rummet 18°C, enligt figur 32.

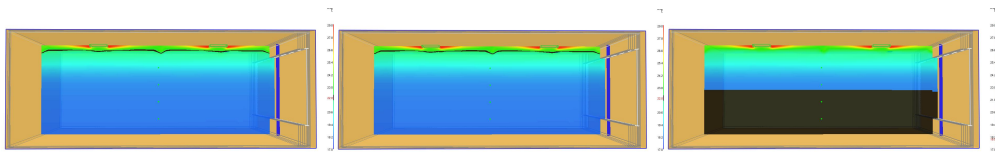
Efter 90 minuter:

Nedan visas resultatet efter 90 minuters simulering med en tilluftstemperatur på 30°C och 52°C.

30 °C:



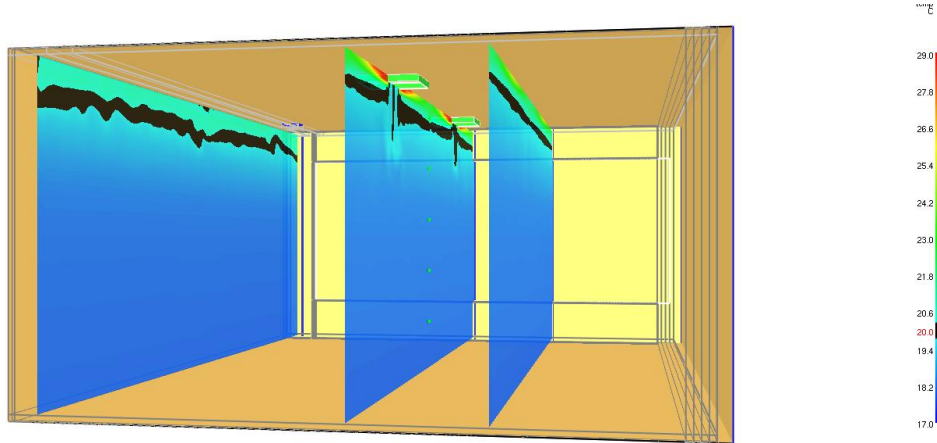
Figur 33; Simulering 90 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20 °C.



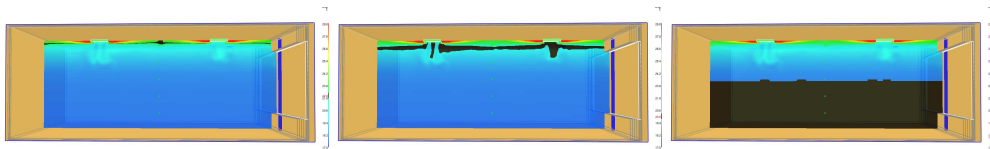
Figur 34; Simulering 90 minuter efter att 30-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 22, 20 samt 18 °C

Efter en och en halv timmes inblåsning har ingen större skillnad skett i höjdnivån för 20°C-luften, detta kan ses i *figur 33* ovan. Nivån med 18°C ligger enligt *figur 34* upp till 1,5 meters höjd.

52 °C:



Figur 35; simulering efter 90 minuter med 52-gradig tilluft, svart markering visar temperaturen 20°C.



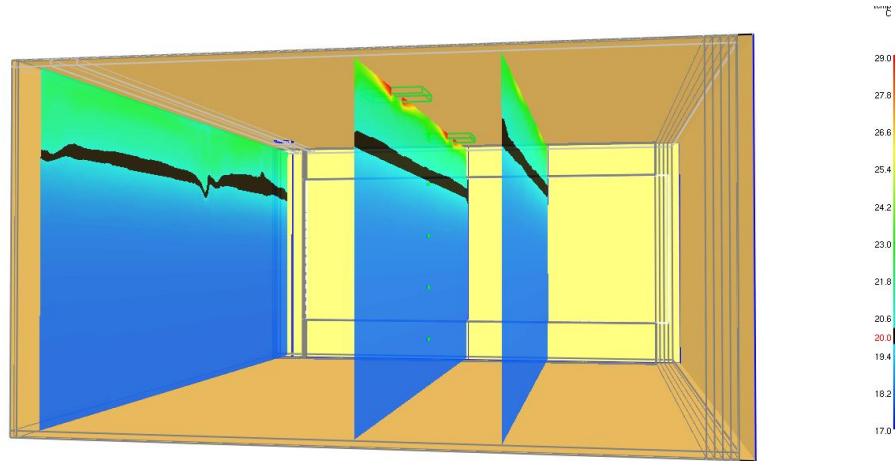
Figur 36; Simulering 90 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20°C

Enligt figur 35 ligger nivån för 20°C-luften fortfarande kvar vid 2,5 meters höjd. Rummet har en temperatur på 18°C upp till 1,5 meter över golvet, se figur 36.

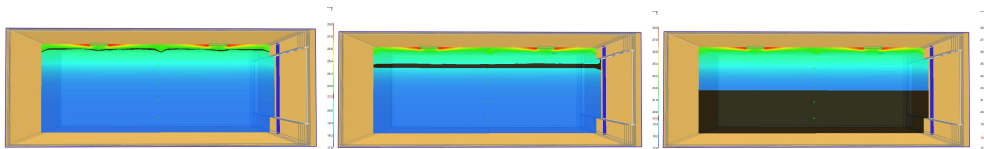
Efter 120 minuter:

Nedan visas resultatet efter 120 minuters simulering med en tilluftstemperatur på 30°C och 52°C.

30 °C:



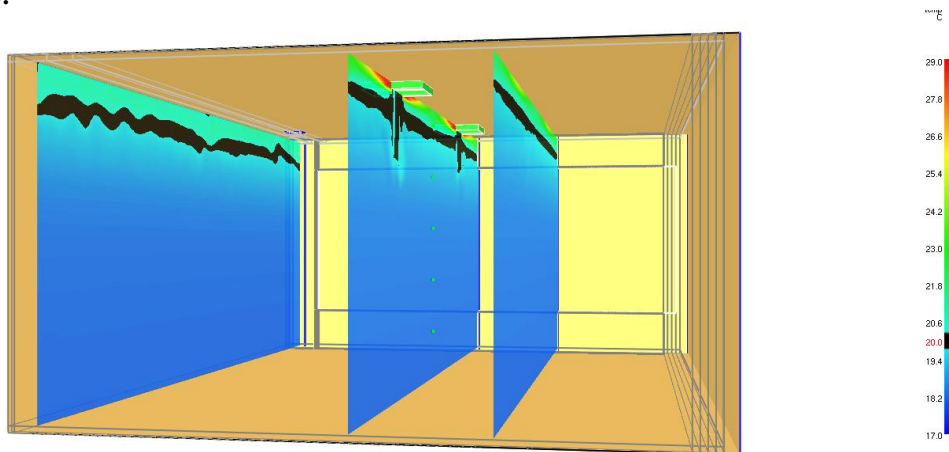
Figur 37; simulering efter 120 minuter med 30-gradig tilluft, svart markering visar temperaturen 20°C.



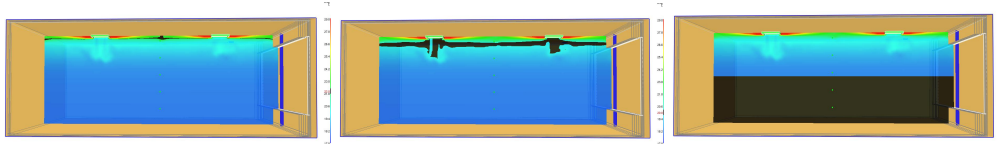
Figur 38; simulering efter 120 minuter med 30-gradig tilluft, svart markering visar temperaturen 22, 20 samt 18°C.

Rummet har en temperatur på 20°C vid 2 meters när två timmar med varmluftsventilation har pågått, höjd enligt figur 37. Temperaturen är 18°C under 1,5 meters höjd, se figur 38.

52 °C:



Figur 39; Simulering 120 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20°C.



Figur 40; Simulering 120 minuter efter att 52-gradig tilluft börjar tillföras. Svart markering visar 20°C

Den 20°C-luften ligger kvar på 2,5 meters höjd, detta kan ses i figur 39. Nivån för 18°C ligger kvar på 1,5 meters höjd, se figur 40.

Frånluftstemperatur

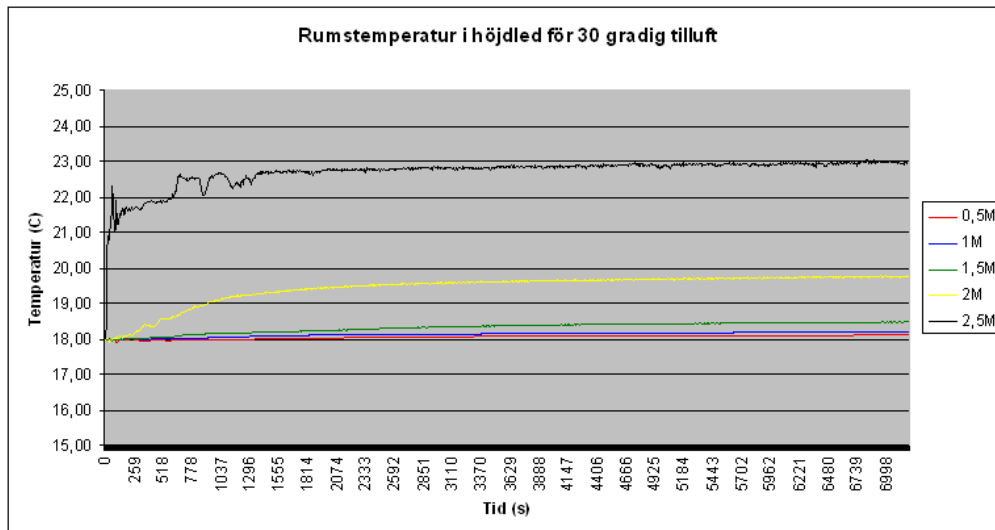
Frånluftstemperaturen mäts genom att avläsa temperaturen strax under frånluftsdonet, vid taknivå, för den 52°C-tilluften hålls en temperatur på 20,5°C och för 30 gradig luft hålls en temperatur på 21,3°C. I beräkningen för effektbehovet har en temperatur på 21°C valts.

Temperaturändringar grafiskt

Förloppet i grafisk form redovisas i figur 41 och 42 nedan. Punkterna som används är tagna från rummets mitt 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 och 2,5 meter över golvet. Tidsförloppet är 2 timmar.

Efter 2 timmar har följande resultat påvisats:

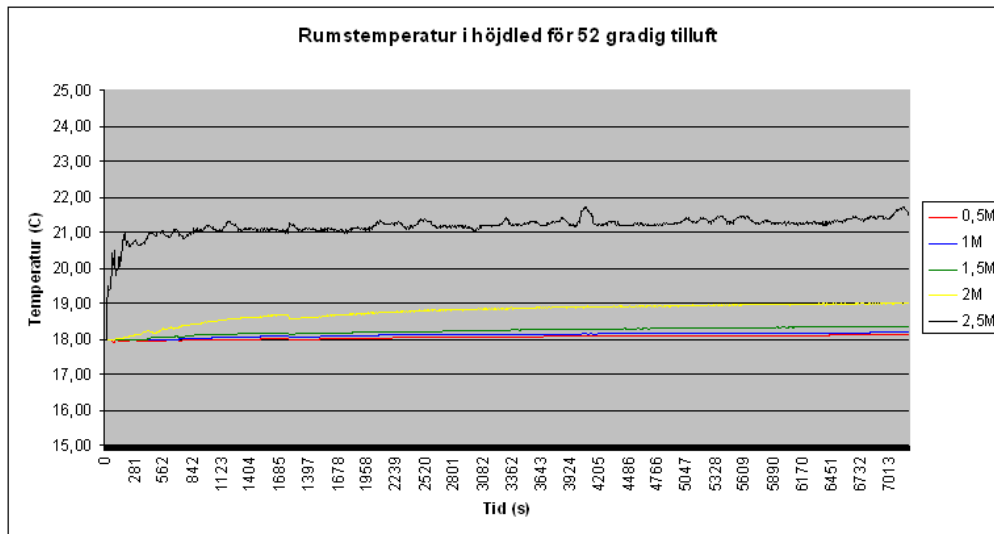
30°C:



Figur 41; temperaturändringen för 30 gradig tilluft under 120 minuters simulering, graferna visar temperaturutvecklingen 2,5; 2; 1,5; 1; 0,5 meter över golvnivån.

För den 30°C-tilluften börjar grafen plana ut efter två timmars simulering för på 2,5 och 2,0 meter. För graferna vid 1,5, 1,0 och 0,5 meter har ännu ingen större temperaturökning inträffat efter två timmar. Temperaturen på 2,5 meters höjd är 23°C efter 2 timmar, på 2,0 meters höjd är temperaturen ca 19,8°C, på 1,5 meter är temperaturen 18,5°C och för 1,0 och 0,5 meter är temperaturen fortfarande nära 18°C.

52 °C:



Figur 42; temperaturändringen för 52 gradig tilluft under 120 minuters simulering, graferna visar temperaturutvecklingen 2,5; 2; 1,5; 1; 0,5 meter över golvnivån.

När 52°C-tilluften simuleras har grafen planat ut mest vid höjden 2,5 meter över golvet. Temperaturen vid 2,0 meter verkar fortfarande öka något och på de lägre höjderna i rummet har fortfarande ingen större förändring inträffat. Temperaturen för 2,5 meter är något ostadig men har en temperatur omkring 21,5°C. Temperaturen är ca 19°C vid 2,0 meters höjd. På 1,5 meters höjd är temperaturen omkring 18,4°C och ca 18,2°C för de lägre höjderna.

Avvikelser:

Under donet för 52°C-tilluften uppstår turbulens vilket inte uppstår med den 30°C-tilluften. Turbulensen kan uppstå av att den varma luften trycker undan och pressar ner luft med lägre temperatur. En annan orsak kan vara att simuleringsprogrammet har svårt att behandla allt för små flöden och temperaturskillnader. FDS används vanligtvis för brandsimuleringar, då råder andra förutsättningar för beräkningarna. Turbulensen som uppstår under donen inverkar på temperaturen under donet och ger en lägre rumstemperatur vid 2,5 meter och inverkar på blandningen av den 18°C-luften.

10.5 Analys av energianvändning

Genom BBR ställs krav på en byggnads specifika energianvändning, BBR:s krav ska alltid uppfyllas. Byggnadens energianvändning är definierad som den energi som levereras till byggnaden under ett normalår och kallas köpt energi. I begreppet ingår den energin som används till uppvärmning, varmvatten och fastighetsel. För den köpta energin ingår inte verksamhetselen.⁸⁷ Beroende på om byggnaden värms upp med elvärme eller ej ställs olika hårda krav. I söder för zon III för lokaler får $E_{\text{köpt}}$ maximalt uppgå till $100 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ och år + tillägg, för ej eluppvärmda byggnader. Tillägget beskrivs med termen $7 \cdot 0 \cdot (q_{\text{medel}} - 0,35)$.⁸⁸

I FEBY:s kravspecifikation för passivhus ges utöver BBR:s krav även rekommendationer om ett rimligt maxvärde av köpt energi, både viktad köpt energi samt för köpt oviktad energi. I söder, zon III för bostäder och lokaler ska E_{viktad} max uppgå till $60 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2 A_{\text{temp}} + \text{garage}$. Börväde vid köpt oviktad energi vid beräkningar där energiförsörjningssystemet består av ett enda sorts system är max $50 \text{ kWh}_{\text{köpt}}/\text{m}^2 A_{\text{temp}} + \text{garage}$.⁸⁹

Emiliaskolan beräknas ha en energianvändning på maximalt $42 \text{ kWh}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$, enligt ramhandlingskravet. Den slutliga energianvändningen beror av hur väl det installationstekniska systemet fungerar, husets byggnadstekniska egenskaper samt brukarnas vanor.

10.5.1 VIP- Energy i korthet

VIP-Energy är ett datorsimuleringsprogram som beräknar en byggnads energibalans. Programmet tar hänsyn till bland annat byggnadens värmelagring, luftläckage, energi från solinstrålning, värmeförlust genom klimatskal, värmepumpar, personlastar och det yttre klimatet för att beräkna energibehovet för uppvärmning och kyla, *se figur 43*.⁹⁰

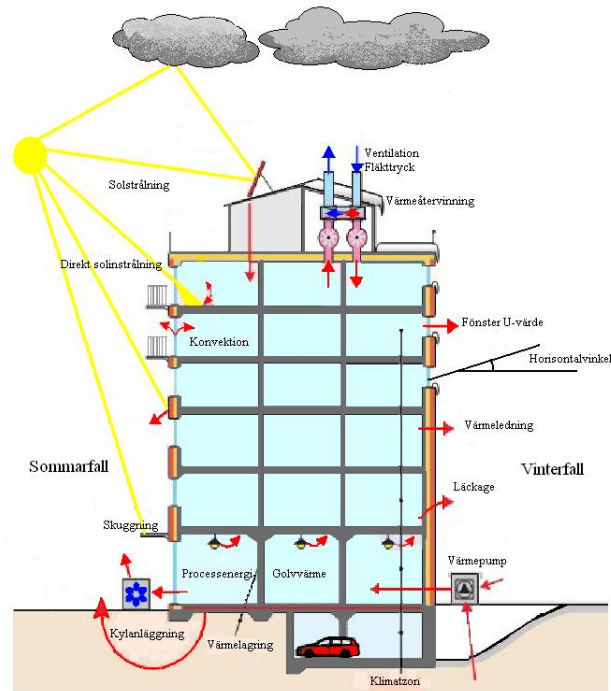
VIP-Energy är en vidareutveckling av programmet VIP+. IDA Indoor Climate and Energy och BV² är andra liknande simuleringsprogram som används för att beräkna en byggnads energibalans. IDA Indoor Climate and Energy är ett mer avancerat program som används av specialister för mer komplexa byggnader, medan BV² och VIP -Energy är beräkningsprogram som används av projektörer. BV² är dock något tveksamt att använda för värmetröga byggnader, som Emiliaskolan. Med BV² är även möjligheten att påverka indata och att kontrollera delresultat mer begränsad än för VIP- Energy. Genom ovan nämnda resonemang har VIP-Energy används som simuleringsprogram i arbetet.

⁸⁷ BBR 16, kapitel 9

⁸⁸ BFS nummer 2008:20 – BBR 16

⁸⁹ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader (2009)

⁹⁰ VIP-Energy (2011-03-05)



Figur 43; Energibalans i ett flervåningshus

10.5.2 Problembeskrivning

När en byggnad används förändras den i förväg beräknade energianvändningen t.ex. genom att brukarna lämnar dörrar och fönster öppna i byggnaden. Energianvändningen ändras även genom att antalet personer som vistas i byggnaden påverkar ventilation och belysning, men de bidrar även med ett positivt värmetilskott.

Följande påverkningar av behovet av köpt energi och har studerats med hjälp av VIP-Energy:

- Försämrade fläkteffektivitet
- Försämrade temperaturverkningsgrad VVX
- Byte till lågenergibelysning
- Underskattad personnärvaro
- Överskattad personnärvaro
- Byggnadens lufttäthet
- Andra vädringsvanor som ger stor vädring
- Höjd tilluftstemperatur
- Otillräckligt underhåll av driftspersonal genom höjning av tilluftstemperatur & försämrade verkningsgrad VVX

- Brukarnas beteende genom ökat läckage genom klimatskalet, höjd tilluftstemperatur, stor vädring och överskattad personnärvaro
- Alla ovan nämnda parametrar inverkar

Redovisad energianvändning

Vid beräkning av energianvändningen ingår värmeförsörjning, byggnadens kylbehov, elförsörjning (fastighetsel) och varmvattenanvändning. Processenergi (verksamhetsel) ingår ej i BBR:s krav på en byggnads totala energianvändning. Elenergi till kök ingår ej i elförsörjningen.

Det är dock även av intresse att se hur verksamhetselen ändras beroende av valda parametrar. I resultatet har därför även verksamhetselen redovisats.

Indata och antaganden

Beräkningarna bygger på tidigare beräkningar av Emiliaskolan, som utförts av projektets energikonstult, vilket har lett till att viss beräknad indata som exempelvis köldbryggor antar samma värde i arbetets beräkningar. Vissa indata som areaberäkningar har dock kontrollberäknats genom stickprov.

Alla parametrar som matas in i VIP-Energy finns inte att tillgå. Av denna anledning har en del antaganden och uppskattningar gjorts. Nedan presenteras dessa indata tillsammans med ett resonemang kring valet av dess värde.

- Varmvatten: Energikonstulterna som räknat på energianvändningen hos Emiliaskolan i ett liknande datorsimuleringsprogram använder ett uppskattat värde på 6 kWh/m²år för varmvattenanvändningen. Detta värde utgår ifrån BBR:s schablonvärde 10 kWh/m²år med avdrag för toaletternas lokala elberedare.
- Värmepåslag: Vid beräkning av värmeförsörjningen görs ett påslag av styr- och reglerförluster samt distributionsförluster på 10 % vardera.
- Värmeväxlarens verkningsgrad: Enligt produktbladet har värmeväxlaren en verkningsgrad på 81 % som erhålls vid en felfri och optimal drift, vilket sällan helt uppnås. Verkningsgraden antas därför vara 77 % i ursprungsfallet.
- Fönstrets g-värde: G-värdet antas till 0,35 ett vanligt värde att anta för solskyddsglas.
- Karmandel: Samtliga fönster antas utgöras av en karmandel på 10 %. Det är ett schablonvärde och en överslagsmässig siffra, vid fönster av normal storlek.

- Klimatskalets otäthet: Enligt ramhandlingarna är det dimensionerade värdet 0,2 l/s, m². Efter provtryckning under byggtiden har ett värde på 0,13 l/s, m², uppmätts, vilket är ett bättre värde. I beräkningen används 0,2 l/s, m² eftersom läckage kan uppkomma under den fortsatta produktionen och förvaltningsskedet.

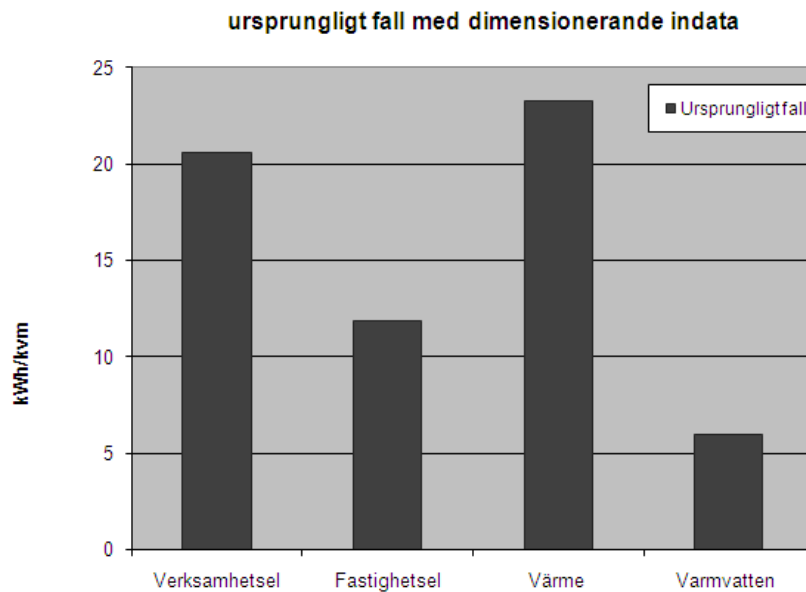
En sammanställning av utvalda indataparametrar och hur dessa varierar i de olika beräkningsfallen kan avläsas i *bilaga 6*.

10.5.3 Resultat

Nedan redovisas de förändrade förutsättningarnas inverkan på energianvändningen, jämfört med prognostiserad energianvändning. De förändringar som utförs i beräkningarna bygger på rimliga antaganden för att på bästa sätt skildra verkligheten. Energianvändningen är uppdelad i verksamhetsel, fastighetsel, värme och varmvatten.

Beräknad energianvändning

Emiliaskolans energianvändning beräknades under projekteringen till 41,1 kWh/m². Fastighetselen uppnår 11,8 kWh/m², värme 23,3 kWh/m² och varmvatten uppskattas till 6,0 kWh/m². Utöver den köpta energin beräknas verksamhetselen uppnå 20,6 kWh/m², se *figur 44*. Resultatet är lägre än börvärdet för att få räknas som ett passivhus enligt FEBY. Börvärdet är 50 kWh/m².

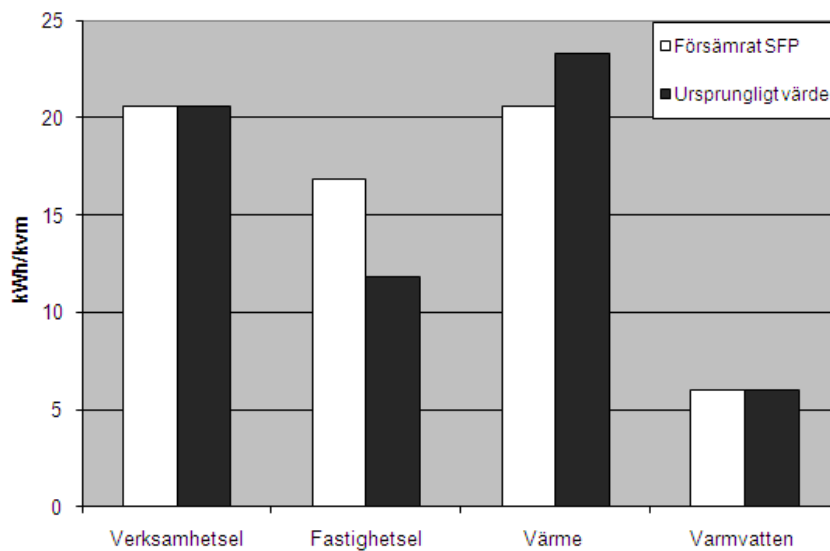


Figur 44; Energianvändning fördelad på olika poster med dimensionerande indatavärden

Försämrad fläkt effektivitet

Fläktarnas effektivitet sänks om det krävs en högre eleffekt för att åstadkomma till- och frånluftsflödet, detta mäts genom fläktens SFP-tal. Om fläktarnas SFP-tal ändras till $3,0 \text{ kW/m}^3\text{s}$ från $2,0 \text{ kW/m}^3\text{s}$, ökar byggnadens behov av köpt energi till $43,4 \text{ kWh/m}^2$, från det ursprungliga $41,1 \text{ kWh/m}^2$, se figur 45. Verksamhetselen är likt det ursprungliga fallet $20,6 \text{ kWh/m}^2$. Fastighetselen ökar från $11,8$ till $16,8 \text{ kWh/m}^2$ eftersom fläktarna kräver mer el för att ge samma flöde. Värmeanvändningen sjunker till $20,6 \text{ kWh/m}^2$ från $23,3 \text{ kWh/m}^2$ genom att fläktarnas ökade aktivitet alstrar värme. Varmvattenanvändningen påverkas inte av förändringen.

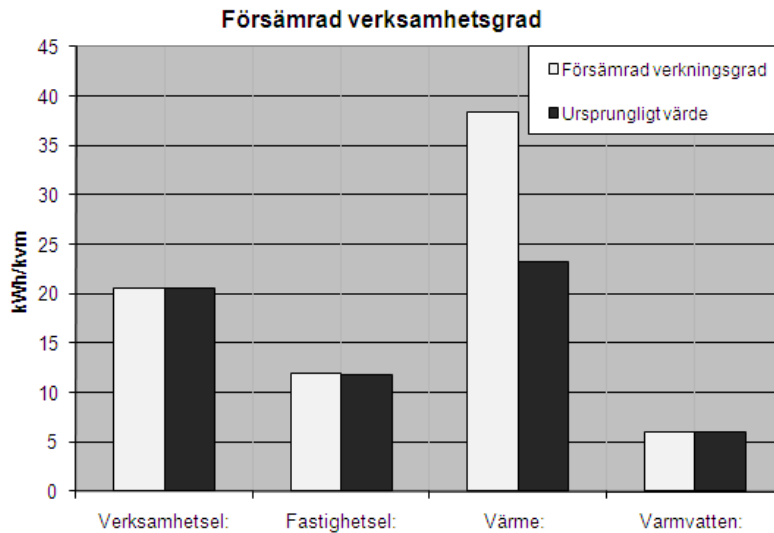
Försämrat SFP



Figur 45; Energianvändning fördelad på olika poster vid försämrat SFP-värde

Försämrad verkningsgrad, VVX

Sämre funktion av värmepumpens verkningsgrad kan bero på att ändrade rutiner för rengöring och underhåll. Om temperaturverkningsgraden försämras ökar behovet av köpt energi till eftervärmningsbatteriet. I detta fall undersöks en försämring av temperaturverkningsgraden från 81 % ner till 55 %. Byggnadens behov av köpt energi blir då $56,4 \text{ kWh/m}^2$, vilket är högre än börvärdet för passivhus. Verksamhetselen, och varmvattenanvändningen påverkas inte av en försämrad verkningsgrad, likt ursprungsfallet är posterna $20,6 \text{ kWh/m}^2$, respektive $6,0 \text{ kWh/m}^2$. Fastighetselen ökar marginellt, från $11,8 \text{ kWh/m}^2$ till $11,9 \text{ kWh/m}^2$. Behovet av värme ökar betydligt mer, från $23,3 \text{ kWh/m}^2$ till $38,5 \text{ kWh/m}^2$, se figur 46.

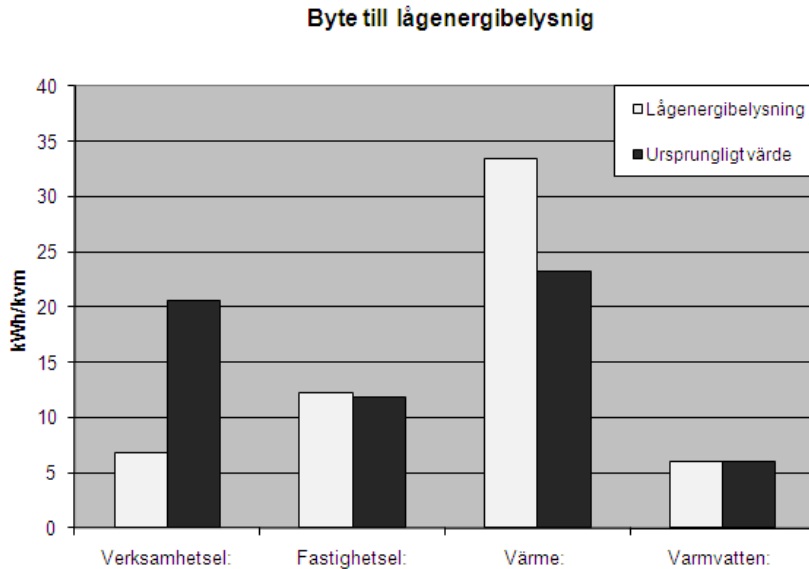


Figur 46; Energianvändning fördelad på olika poster vid försämrad verksamhetsgrad

Byte till lågenergibelysning

Vid en för låg rumstemperatur när skolan är öppen kommer belysningen automatiskt att tändas för att värma. Hela den installerade belysningseffekten antas att värma. Belysningseffekten är därmed betydande för skolans inneklimat.

Det är inte otänkbart att belysningen så småningom byts till t.ex. LED-belysning som är betydligt eleffektivare och därmed ger mindre spillvärme. Man kan anta att byte till LEDbelysning minskar den installerade effekten till en tredjedel. Byggnadens behov av köpt energi ökar till 51,8 kWh/m², från 41,1 kWh/m². Posten som ökar mest om lågenergibelysning installeras är behovet av värme, vilket ökar till 33,4 kWh/m² från 23,3 kWh/m². Fastighetselen ligger relativt konstant, till 12,3 kWh/m² från 11,8 kWh/m², varmvattnet ligger konstant på 6 kWh/m². Börvärdet för passivhus kommer därmed att överskridas vid ett byte till lågenergibelysning. Förutom den köpta energin kommer dock verksamhetselen kraftigt sjunka från 20,6 kWh/m² till 6,8 kWh/m², se figur 47.



Figur 47; Energianvändning fördelad på olika poster vid byte till lågenergibelysning

Ändrad personnärvaro

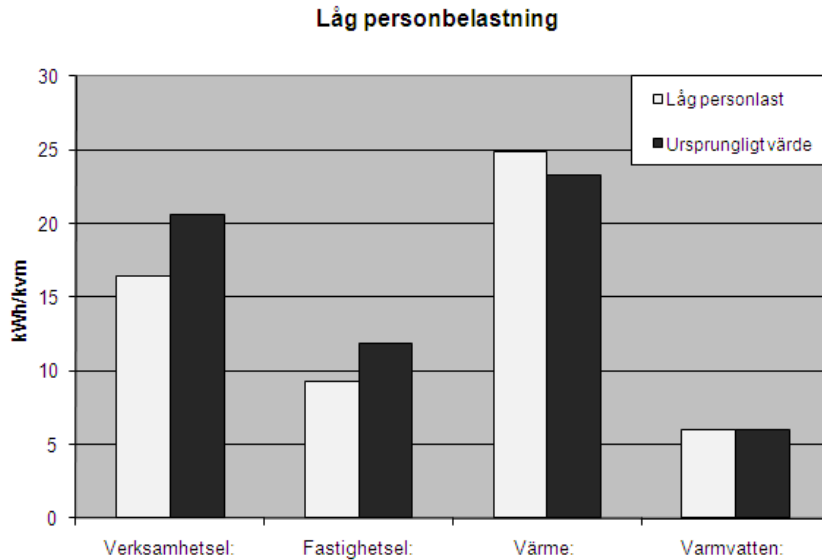
Varje rum på skolan är tänkta för ett visst antal elever och lärare . Detta ligger till grund för beräkning av erforderligt ventilationsflöde som ger ett bra hygieniskt klimat.

Eftersom belysningen i skolan är närvarostyrd påverkas även denna då rummen står tomma liksom ventilationsflödet.

Följden av en ökad personnärvaro vintertid är att behov av köpt energi till uppvärmning minskar av den ökade interna värmelasten. Sommartid krävs ett större luftflöde varvid elbehovet till ventilationen ökar. Om personnärvaron istället minskar kommer uppvärmningsbehovet vintertid att öka.

Minskad personnärvaro

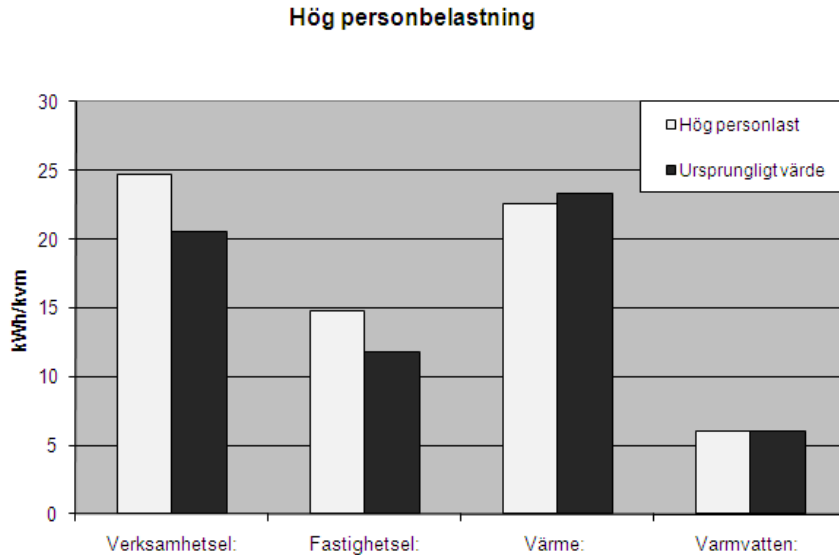
En halverad personbelastning ger en halverad alstring av personvärme. Dessutom minskar den närvarostyrda belysningseffekt samt ett reducerat ventilationsflöde. I beräkningen minskas belysningseffekten med en femtedel och ventilationsflödet halveras eftersom det beräknas på antal personer. Den totala energianvändningen reduceras till 40,1 kWh/m² från 41,1 kWh/m². Fastighetselen reduceras från 11,8 kWh/m² till 9,3 kWh/m², värmeanvändningen ökar från 23,3 kWh/m² till 24,8 kWh/m². Varmvattnet är likt ursprungsfallet 6 kWh/m². På grund av den minskade belysningseffekten minskar dessutom verksamhetselen från 20,6 kWh/m² till 16,5 kWh/m², se figur 48.



Figur 48; Energianvändning fördelad på olika poster vid underdimensionerad personbelastning

Ökad personnärvaro

Energianvändningen beräknas till 43,3 kWh/m² från det ursprungliga 41,1 kWh/m² om personnärvaron ökar med en faktor 1,5. Som följd av en ökad personlast ökas belysningseffekten med 20 %, samt ett ökat ventilationsflöde beräknat på ändringen i antal personer, se figur 49. Fastighetselen ökar från 11,8 kWh/m² till 14,8 kWh/m² på grund av den ökade ventilationen. Värmeeffekten sänks till 22,5 kWh/m² från 23,3 kWh/m² och varmvattenförbrukningen är konstant. Verksamhetselen ökar med den ökade belysningseffekten till 24,7 kWh/m² från 20,6 kWh/m².

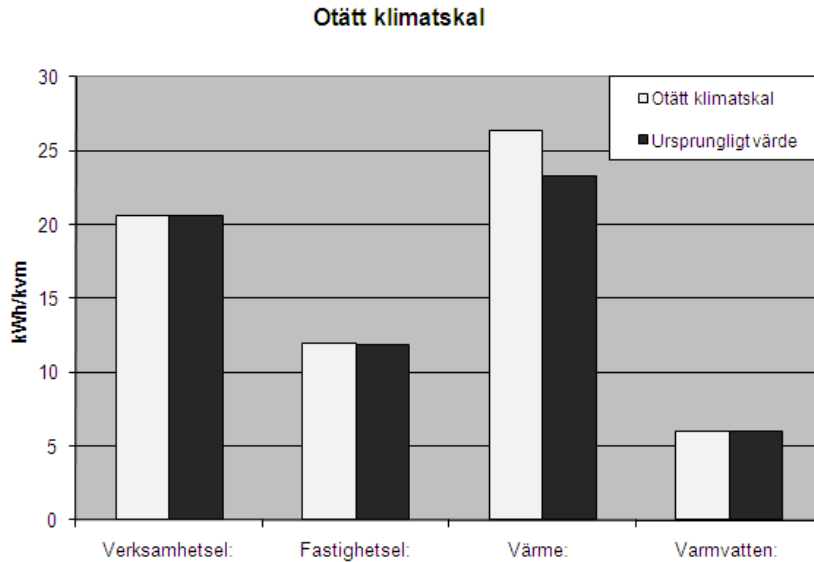


Figur 49; Energianvändning fördelad på olika poster vid överdimensionerad personbelastning

Läckage i byggnadens lufttätethet

Klimatskalets otäthet med dimensionerade värden utifrån ramhandlingarna är $0,2 \text{ l/m}^2, \text{s}$ vid 50 Pa . Det är även vad som ges som krav för passivhus enligt FEBY. Motsvarande siffror i gällande BBR för en konventionell byggnad finns inte. Däremot ges ett råd, ännu ej kvantifierat, om $0,6 \text{ l/m}^2, \text{s}$ vid 50 Pa för att klara fuktkraven.

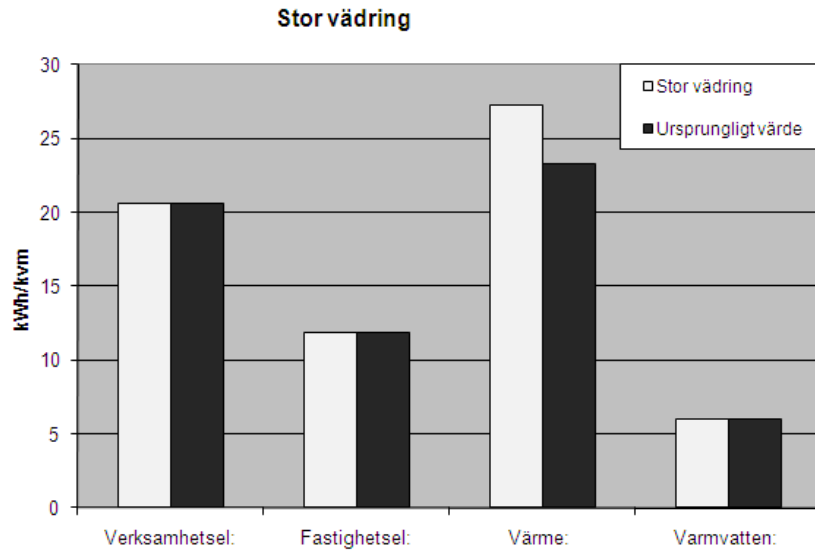
Byggnaden kommer att tryckprovas två gånger för att säkerställa att kravet på $0,2 \text{ l/m}^2, \text{s}$ säkerställs. Ger resultatet ett högre värde under produktionens gång måste åtgärder vidtas. När väggen är monterad och klar kan tätheten försämrats av hålslagning i plastfolie vid uppsättning av väggdekoration där fästordningen ej ses över. I beräkningen för ökat läckage ändras otätheten på tak och väggar till $0,6 \text{ l/m}^2, \text{s}$. Energianvändningen uppgår då till $44,3 \text{ kWh/m}^2$ från $41,1 \text{ kWh/m}^2$, se figur 50. Genom otätheten ökar behovet av värme och värmeförbrukningen ökar från $23,3 \text{ kWh/m}^2$ till $26,3 \text{ kWh/m}^2$. Fastighetselen ökar även från $11,8 \text{ kWh/m}^2$ till $12,0 \text{ kWh/m}^2$. Både varmvattenförbrukningen och verksamhetselen håller den ursprungliga nivån.



Figur 50; Energianvändning fördelad på olika poster vid otätheter i byggnadens klimatskal

Felaktiga vädringsvanor - stor vädring

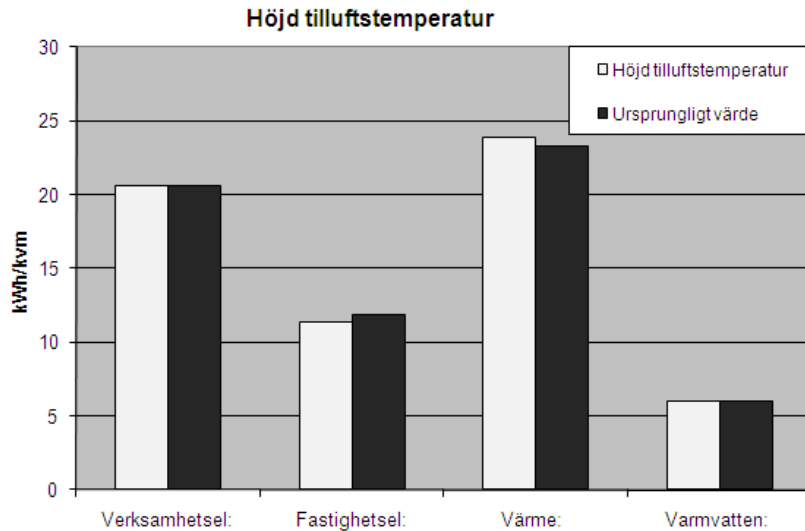
Enligt SVEBY projektet används ett schablonvärde på 4 kWh/A_{temp} som tillägg på uppvärmningsenergin för stor vädring. Värdet läggs på värmeförbrukningen, vilket då ökar från 23,3 kWh/m² till 27,3 kWh/m². Övriga poster hålls på ursprunglig nivå. Med detta tillägg uppgår den totala energianvändningen till 45,1 kWh/m² mot 41,1 kWh/m², se figur 51.



Figur 51; Energianvändning fördelad på olika poster vid stor vädring

Höjd tilluftstemperatur

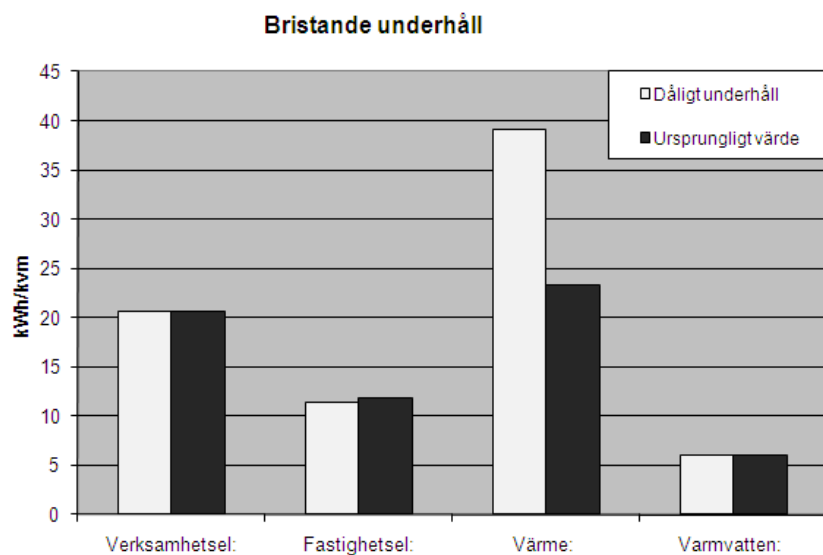
Ett tänkt fall kan vara att elever och personal klagar på drag i skolan. Vad som troligen sker då är att vaktmästaren höjer tilluftstemperaturen från 15°C till exempelvis 19°C. Följden av detta är att den totala energianvändningen ökar till 41,3 kWh/m² från 41,1 kWh/m², vilket är en relativt liten ändring. Värmeanvändningen ökar till 23,9 kWh/m² från 23,3 kWh/m², fastighetselen sänks till 11,3 kWh/m² från kWh/m². Verksamhetselen och varmvattenförbrukningen är konstanta. *Se figur 52.*



Figur 52; Energianvändning fördelad på olika poster vid en höjd tilluftstemperatur

Otillräckligt underhåll av driftpersonal - Höjd tilluftstemperatur & Försämrade verksamhetsgrad VVX

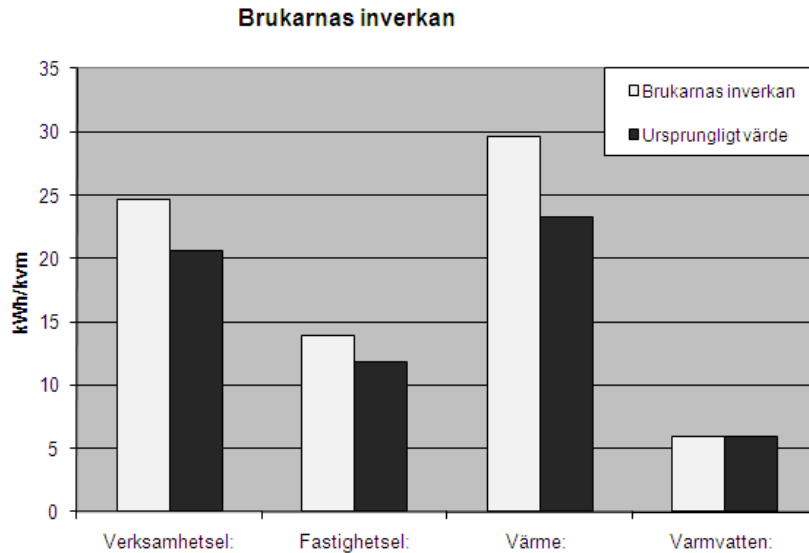
Om byggnaden har ett otillräckligt underhåll av driftpersonal kan inverkan göras på flera olika parametrar. Som exempel sätts en höjd tilluftstemperatur på 19°C samt misskötsel av underhåll på fläktar, som sänker fläktarnas verkningsgrad. Detta ger tillsammans en total energianvändning på 45,1 kWh/m² från det ursprungliga 41,1 kWh/m². Värmeanvändningen ökar till 39,1 kWh/m² från 23,3 kWh/m² vilket till största del beror av den försämrade verkningsgraden. Fastighetselen minskar till 11,5 kWh/m² från 11,8 kWh/m². Varmvattenförbrukningen och verksamhetselen påverkas ej. *Se figur 53.*



Figur 53; Energianvändning fördelad på olika poster vid dåligt driftunderhåll

Brukarnas inverkan

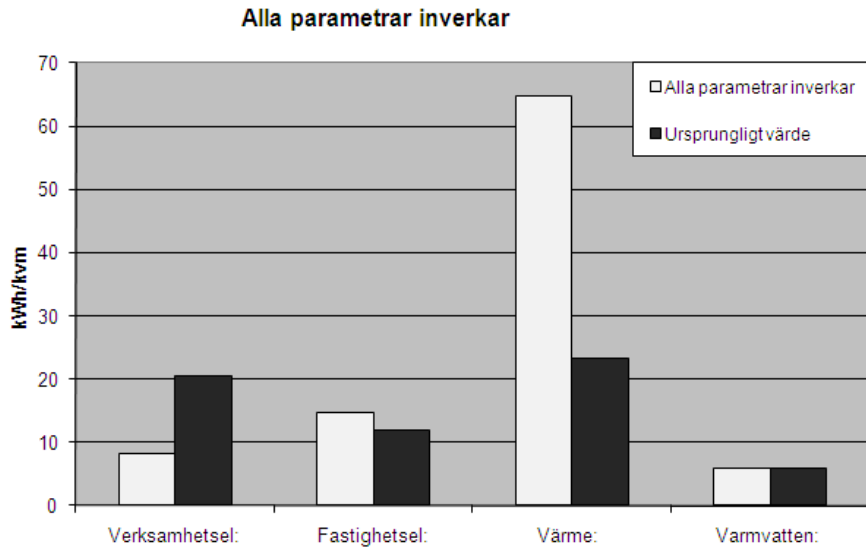
Till brukarnas inverkan läggs läckage i klimatskalet, höjd tilluftstemperatur, felaktiga vädringsvanor samt överskattad personnärvaro samman. Tillsammans ger detta en total energianvändning på 49,5 kWh/m², vilket är marginellt under börvärdet för passivhus, se figur 54. Värmeanvändningen ökar från 29,6 kWh/m² från 23,3 kWh/m². Fastighetselen minskar till 13,9 kWh/m² från 11,8 kWh/m². Varmvattnet är oförändrat. Verksamhetselen ökar dessutom från 24,7 kWh/m² till 20,6 kWh/m².



Figur 54; Energianvändning fördelad på olika poster när samtliga parametrar som påverkas av brukarna inverkar

Alla parametrar inverkar

Ett extremt tänkbart fall är om samtliga parametrar inverkar, vilket självfallet ger störts utslag på energianvändningen. Totala energianvändningen uppgår i detta fall till 85,6 kWh/m² från 41,1 kWh/m², se figur 55. Värmeförbrukningen blir 64,9 kWh/m² från 23,3 kWh/m². Fastighetselen ökar till 14,7 kWh/m² från 11,8 kWh/m². Verksamhetselen sjunker däremot, från 20,6 kWh/m² till 8,2 kWh/m².



Figur 55; Energianvändning fördelad på olika poster när alla parametrar inverkar

Sammanställning energianvändning vid förändrade förhållanden

Av de utförda VIP simuleringarna framgår att energianvändningen påverkas av brukarnas beteende och vid förändrade förhållanden innanför byggnadens klimatskal.

I tabellen nedan visas en sammanställning av hur stora utfallen är och vilken eller vilka villkor som resulterar i att ramhandlingskravet och/eller FEBY: s börvärde på passivhus överskrids. Resultatet redovisar främst en ökad energianvändning till följd av en försämrad återvinningsgrad pga. dåligt driftunderhåll samt byte till lågenergibelysningen. Energianvändningen ökar med 15,3 kWh/m² respektive 10,6 kWh/m². För flera av de andra posterna ökar energianvändningen mellan 2 - 3 kWh/m². Det är endast vid en reducerad personbelastning som resulterar i en lägre total energianvändning. Omfattningen är dock endast 1 kWh/m², se figur 56.

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

Förhållande	Energibehov [kWh/m ²]	Ökad/minskad energibehov [kWh/m ²]	Klarar ramhand- lingskravet	Klarar börvärde passivhus
			≤ 42 kWh/m ²	≤ 50 kWh/m ²
Uträkning enligt ramhandlingarna	41,13		Ja	Ja
1) Försämrade fläkt effektivitet	43,4	+ 2,27	Nej	Nej
2) Byte till lågenergibelysning	51,75	+ 10,62	Nej	Nej
3) Läckage i byggnadens lufttätethet	44,33	+ 3,2	Nej	Ja
4) Försämrade verksamsgrad vvx	56,39	+ 15,26	Nej	Nej
5) Höjning av tilluftstemperatur	41,28	+ 0,15	Ja	Ja
Ändrad personbelastning				
6) Underrimensionerad personbelastning	40,14	- 0,99	Ja	Ja
7) Överdimensionerad personbelastning	43,29	+ 2,16	Nej	Ja
8) Felaktiga vädringsvanor - stor vädring	45,13	+ 4	Nej	Ja
Driftpersonalens inverkan				
9) Dåligt underhåll av driftspersonal (4,5)	56,59	+ 15,46	Nej	Nej
10) Brukarnas inverkan (3,5,7,8)	49,49	+ 4,36	Nej	Ja
11) Alla inverkande parametrar (2,3,4,5,6,7,8)	85,6	+ 44,47	Nej	Nej

Tabell 56; Sammanställning av hur energianvändningen påverkas av förändrade förhållanden

Beräkningen visar att i värsta tänkbara fall kan energianvändningen fördubblas från ursprungsfallet. Brukarna och förvaltarna har därmed en betydande inverkan på byggnadens energiprestanda. Det är även av stor betydelse att använda rimliga antaganden när energiberäkningar genomförs eftersom utfallet kan variera stort från det beräknade.

11 Sammanställning och diskussion av analysens resultat

11.1 Värmeeffektbehov

Beräknat effektbehov visar att skolan klarar FEBY:s effektkrav. Kraven på fönstrens U-värde, klimatskalets lufttäthet samt ventilationens ljudklass är uppfyllda. Dessutom används ett system som mäter energiåtgången. Emiliaskolan kan därmed kallas ”Passivhus enligt FEBY”.

Effektbehovet är beräknat med en dimensionerande utetemperatur enligt FEBY. Ramhandlingens dimensionerande utetemperatur skiljer sig från det beräknade värdet och vid tillämpning av detta värde uppfylls inte kraven för att byggnaden ska få benämnas ”Projekterad för Passivhus enligt FEBY”.

11.2 Temperaturkänslighet

De rum som är mest utsatta för temperaturändringar är främst hörnrummen. En större andel fönster påskyndar temperatursänkningen vintertid. Det är ingen skillnad beroende på vilket plan rummet ligger på. Orsaken är att tak och grund har lika och låga U-värden och att hela klimatskalet totalt sett har ett lågt U-värde.

I rum som inte används sjunker innetemperaturen relativt snabbt ner till 20°C vid låg utetemperatur. Rum 110, 166, 168, 234 och 235 behöver förmodligen kompletteras med eleftervärmare eftersom installerad belysningseffekt inte kommer att räcka till vid dimensionerande utetemperatur. Det bör dock kommenteras att beräkningarna på rummet effektbalans och effektbehov samt deras värmetröghet bygger på DUT_{20} . Till fortsatta studier kan en utförligare kontroll utföras när skolans brukstider är kända under dessa kalla dagar.

Beräkningarna bygger dock på att rummen är tomma. Rum 110 och 234 som är hemvistrum respektive storrum kommer troligtvis att användas redan på förmiddagen och bör därmed inte ligga i riskzonen. Grupprummen 166, 168 och 235 används däremot förmodligen endast sporadiskt och ligger därmed inom riskzonen.

Grupprum riskerar att bli kalla trots att de har relativt små fönster. Den operativa temperaturen håller sig dock högre pga. den låga fönsterandelen.

Åtgärder

Åtgärder att rekommendera brukarna är att dörren till intilliggande rum lämnas öppen när grupprummet inte används för att ta del av dess värme. Intilliggande storrum och hemvistrum värmer på så vis grupprummen.

Om grupprum förses med exempelvis en dator kommer rummet att tillförs tillräckligt med värme för att täcka värmebehovet. Detta kan hållas vid åtanke vid möblering, om möjlighet finns.

Vid låg personnärvaro, dvs. när det närmar sig stängningsdags kan verksamheten koncentreras till en del av byggnaden. På så vis koncentras även internlasten och den använda delens värmebehov sänks.

Personalen kan också tända belysningen, om rummets känns kallt.

11.3 Tillförsel av övertempererad tilluft

När rummen värms upp med varm tilluft görs ingen större skillnad för omblandningen om 30-gradig eller 52-gradig luft används. För 30-gradig luft ses en något högre temperatur 1,5 meter ovan golvet än för 52-gradig luft. Figurer som visar temperatur i 3D perspektiv visar dock att med den 30 gradiga tilluften fås 20 gradig luft längre ner i rummet än för fallet för 52 gradig luft.

I BBR finns råd om att golvtemperaturen i skolor ska hållas vid en högre temperatur än vad som är rekommenderat i andra byggnader. Golvets temperatur bör vara 20-26°C, eftersom barn som befinner sig närmare golvet än vuxna. Enligt studien i FDS sker aldrig en omblandning vid golvnivå under den två timmar långa simuleringen, temperaturen hålls nere vid 18°C, likt starttemperaturen. Detta betyder även att luften vid golvnivå riskerar att inte ersättas med ny luft under morgonen och föroreningar kan finnas kvar i luften.

Det kan diskuteras huruvida det är lämpligt att temperaturgivarna i rummen är placerade i underkanten av tilluftsdonet. Vid övertempererad tilluft är detta av högsta betydelse, eftersom en felaktig omblandning ger felaktiga signaler om en hög temperatur i rummet när den i själva verket är lägre vid golvet. En mer lämplig placering är vid rummets halva höjd.

Ett förslag till utformningen är att inte låta temperaturen sjunka ner till 18°C under natten utan försöka hålla en jämn nivå dygnet runt. Om temperaturgivaren är placerad i taknivå bör kontroller göras på hur varmt det är i resten av rummet, när byggnaden tagits i drift.

Kommentar till antaganden och indata

Det bör dock understrykas att simuleringarna i FDS är utförda under ej personbelastade förhållanden. Hur luftomblandningen förändras när personer antrar rummet har inte undersökts, av logisk anledning är sannolikheten att den förbättras stor. Hur snabb förändringen sker är dock svårt att kommentera utan en närmare undersökning.

11.4 Energianvändning

Den projekterade skolans användning ligger under börvärdet för vad en byggnad max får anta för att klassificeras och benämnas som ett passivhus enligt FEBY. Värdet hamnar även under det krav som satts upp i ramhandlingen.

Vid förändrade förutsättningar sker dock en ökning eller minskning av energibehov beroende på dess inverkan. Störst inverkan på energianvändningen har försämrade verkningsgrad på värmeväxlaren och byte till lågenergibelysning. Båda leder till att projekterad energianvändning och passivhuskravet enligt FEBY överskrids. Regelbundna kontroller och underhåll är av högsta betydelse för en optimal temperaturverkningsgrad. Svårare blir det att hantera en övergång till lågneregibelysning trots att den har en positiv effekt på energianvändningen för verksamhetsel och ger totalt sett en lägre energianvändning än det ursprungliga fallet.

Vad gäller brukarnas påverkan på energianvändningen är det främst vädringsvanor och luftläckaget i klimatskalet som har störst inverkan. Båda leder till att projekterad energianvändning överskrids, dock klarar byggnaden FEBY:s passivhuskrav. Energiförluster kan reduceras genom information till brukarna om hur vädringen utförs på rätt sätt samt om plastfoliens placering och funktion.

Kommentar till antaganden och indata

Simuleringarna i VIP -Energy bygger på ett stort antal parametrar. Vid beräkningarna av Emiliaskolan gjordes en del antaganden och överslagsmässiga värden. Fönstrens karmandel har på samtliga fönster approximerats till 10 % av fönsterytan, information saknas angående fönstrens g-värde och har därför antagits till 0,35. En större andel fönsterkarm och ett högre g-värde hade bidragit till en ändring i värmebehov.

I ramhandlingarna framgår ingen information om solavskärmning och därför har mellanliggande solavskärmning antagits.

11.5 Diskussion

Inledningsvis beskrevs kopplingen mellan brukarbeteende och skolans energianvändning. Utifrån referensobjektets resultat och analys utformas en sammanställning, översatt för generella byggnader byggda med passivhusteknik och som besvarar rapportens uppsatta frågeställning i inledningskapitlet. I kapitlet diskuteras även huruvida innehållet i FEBY:s kravspecifikation påverkar passivhusteknikens utveckling.

11.5.1 Energianvändning och inneklimat kopplat till brukarbeteende

Analysen visar att det finns ett samband mellan okunskap och onödiga energiförluster.

De flesta lärarna vill få undervisning i energibesparande åtgärder. Ökad energimedvetande och beteende bidrar till reducerad energiåtgång. Okunskapen är bland annat orsaken till att ytterdörrar står öppna i onödan och att belysning lämnas tänd i tomma rum. Vattenkranarna blir ofta kvarglömt öppna, vilket givetvis drar onödig energi. Barnen bör definitivt få förklarat detta på ett pedagogiskt och begripligt sätt. Alternativ kan investeras i sensorreglerade vattenkranar. Frisk luft är viktigt i skolor och vädring sker ofta utan kännedom om vilka påföljder som den orsakar om den utförs felaktigt. En energibov i sammanhanget, som orsakar en ökning med 4 % av referensbyggnadens energianvändning.

Brukarnas inställning till passivhus är förhållande vis positiv. Med kunskap om konstruktionens uppbyggnad och funktion kan misstag undvikas som att ta hål i ångspärren som minskar byggnadens lufttäthet och som orsakar en energiökning med 3,2 % hos referensbyggnaden. Hål i plastfolien blir dessutom extra riskfyllt tillsammans med en stor isoleringstjocklek som i passivhus, eftersom risken för fuktproblem blir större.

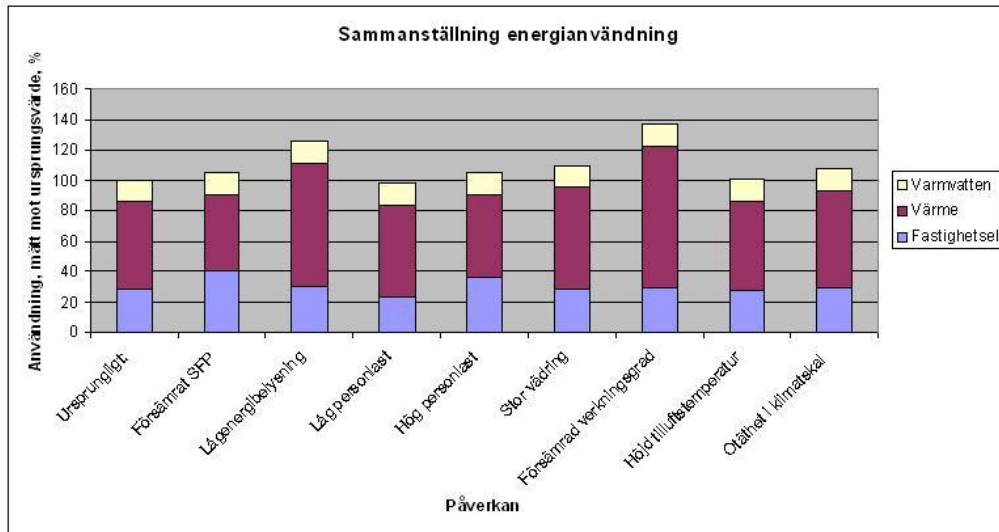
Upplysning om tillsatsvärmen, kan bidra till att lärarna planerar sitt rumsutnyttjande. Hörnrummen kan planeras för en jämn personnärvaro under dagen och fordrar därmed ingen energikrävande tillsatsvärme. Finns möjlighet kan dessa utrymmen även utrustas med datorer och användas som informationsrum.

Vädringens utförande och byggnadens lufttäthet har även en betydande roll på en byggnads energianvändning. Liten vädring under långa tider och skador i byggnadens lufttäthet vid montering av inredning påverkar energianvändningen negativt. Information till brukare om vädringsmetoder och en uppmärksammelse om innebörden av lufttäthet bör därför överlämnas.

11.5.2 Brukare och energianvändning

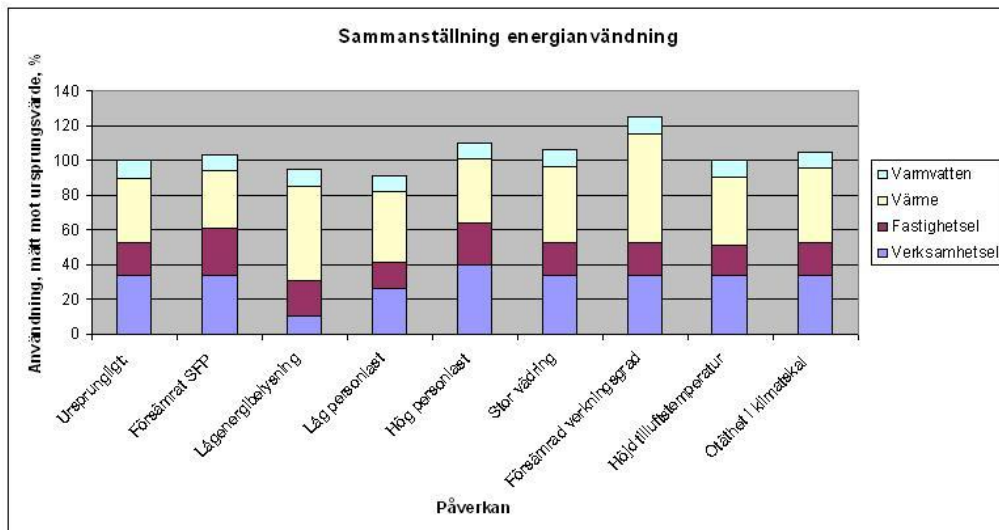
Passivhus utnyttjar, och är därmed i större behov av, värmestillskott än konventionella hus. Detta medför att ett byte till lågenergibelysning ökar behovet av köpt värme och medför en ökad energiprestanda för byggnaden. Ett väl fungerande passivhus kräver dessutom ett väl utfört och projekterat klimatskal. En försämrad verkningsgrad på värmeväxlaren är därför en post som leder till stora tillskott i energianvändningen. Brukarna kan även inverka genom att vädra för mycket eller minska klimatskalets täthet genom att slå hål på plastfolien i väggen vid montering av inredning, detta har dock inte en lika hög inverkan som om underhållet är bristfälligt. En sammanställning av handlingar som inverkar på energianvändningen i en byggnad redovisas i *figur 57* nedan. Handlingarna är jämförda med det ursprungliga värdet från en "normal energianvändning".

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet



Figur 57; Olika handlingars inverkan på energianvändningen av varmvatten, värme och fastighetsel

För energianvändningen summeras energiposterna varmvatten, värme och fastighetsel. För att göra en sammanställning av byggnadens totala energianvändning ska även verksamhetselen tilläggas. Denna post är inte medräknad i BBR:s krav för en byggnads energianvändning. *Figur 58*, visar en sammanställning på de utvalda parametrar som studerats i arbetet och som påverkar en byggnads energianvändning, samt i vilket omfång respektive parameter inverkar. Där visas även den beräknade verksamhetselen.



Figur 58; Olika handlingars inverkan på energianvändningen av varmvatten, värme, fastighetsel och verksamhetsel

I figur 58 framgår att byte till lågenergibelysning skulle ge en total energianvändning som är lägre än det projekterade men, börvärdet för Passivhus skulle överskridas.

För att åstadkomma en byggnad med en låga värmeförluster vintertid bör man under projekteringsstadiet arbeta med följande parametrar kopplade till klimatskalet:

- Byggnaden bör utformas med en liten andel ytterväggar i förhållande till byggnadens golvarea.
- Genom hela klimatskalet bör en god isoleringstjocklek användas för att ge ett lågt U-värde till samtliga delar.
- Antalet köldbryggor ska minimeras, detta medför att värmeförlusterna reduceras.
- För byggnadens fönster inverkar U-värde, men även fönsterandel, solinstrålningsförmåga och fönsterplacering. Om fönsterandelen reduceras minskar värmeförlusterna men också värmetillskottet vintertid. Det är mer gynnsamt att ha fönster orienterade i söderläge för solinstrålning. Sommartid ger det dock ett stort kylbehov. Optimalt g-värde minskar övertemperaturer men ger stort kylbehov sommartid.
- Om en tyngre stomme används ges en bättre värmetröghet till byggnaden och byggnaden har då en mindre påverkan av hastiga temperaturväxlingar utomhus.
- Slutligen ska även vikt läggas vid att få huset tätt så att ofrivillig ventilation minskas.

11.5.3 Funktionskrav v.s. Komponentkrav

I kapitlet passivhus definierar FEBY de krav som ett hus måste uppfylla genom krav på byggnadens komponenter. Däremot föreskrivs inga krav på de olika funktionerna en byggnad ska uppfylla. Enskilda projekt ges på så vis en väsentligt större möjlighet till en optimerad lösning. Tidigare projekt som lyckats bra låser inte heller fast idéer och tankar, som kan utvecklas och leda till ännu bättre resultat. Valmöjligheterna blir fler och begränsningarna blir färre vilket skapar utrymme och möjligheter att låta passivhusteknik utvecklas. Det bör dock poängteras angelägenheten av att tydliga krav finns att tillgå vid projekteringen eftersom det säkerställer en status i innebörden av att definiera som passivhus.

11.5.4 Inneklimat

Hörnrummen är känsligast för hur och när rummen används och kyls relativt snabbt ner. De har större andel ytterväggar och relativt mycket fönster som har betydligt sämre U-värde än vad ytterväggarna har.

Vid projektering av byggnader som ska värmas nattetid genom ventilationen bör extra hänsyn tas till byggnadens mer utsatta områden. Rum som är belägna långt från husets kärna bör användas under regelbundna tider för att hålla en jämn intern

värmelast. Ett rum som har många ytterväggar bör utformas så att värmeförlusterna minskas, genom att minska fönstermängden och placera fönster i lägen med god solinstålning. Fönsterandelen får dock inte bli mindre än BBR:s krav på 10 % av golvarean.

Skillnaden i omblandning mellan att använda 52°C eller 30°C luft för uppvärmning är relativt liten. Omblandningen blir aningen bättre om 30 °C luft används med ett högre flöde än om högre temperatur med lägre flöde används. Vid användning av övertempererad tilluft bör dock valet av rumshöjd samt placering av rumstermostat väljas med eftertanke. Ju högre i tak desto större temperaturdifferenser i höjded och desto sämre inomhuskomfort. Rumstermostaten bör placeras i jämnhöjd med brukarna.

Återluft filtreras med risk finns ändå för att halten föroreningar blir högre än när uteluft tillförs byggnaden. För att säkerställa att luften är ren när byggnaden används bör omblandningen i rummet, och därmed luftombytet, vara god.

12 Referenslista

BÖCKER

E. Abel, A. Elmroth (2008) *Byggnaden som system*, (2:a upplagan), Stockholm, Formas

Statens energimyndighet (2009) *Energiläget 2009*, Eskilstuna, CM gruppen 2009

C. Warfvinge, M. Dahlblom (2003) *Installationsteknik AK för V*, (kapitel 2 & 3) Lund: Studentlitteratur

C. Warfvinge, M. Dahlblom (2010) *Projektering av VVS-installationer*, (uppl. 1:1) Lund: Studentlitteratur

RAPPORTER

B. Nordquist (1999) *Allmänna tips och råd om vädring i skolor* TABK-99/7052. Institutionen för arkitektur, Lunds tekniska högskola, Lund.

B. Nordquist (2007) *Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag* TVIT-07/3005. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lund.

B. Nordquist (1999) *Fakta och formler om vädring* TABK-99/7053. Institutionen för arkitektur, Lunds tekniska högskola, Lund.

PM

ATON Teknikkonsult AB. Sandberg, Eje. (2009). *Lokalbyggnader som passivhus*. Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting

ELEKTRONISKA KÄLLOR

RAPPORTER

Å. Blomsterberg (2009) *Lågenergihus - En studie av olika koncept*. Lund: KFS AB. (ISBN 978-91-85147-38-0) [Hämtad 2010-08-06]

Kravspecifikation för Passivhus, LTH rapport. (2009). Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBY. Tillgänglig på internet: <<http://www.energieffektivabyggnader.se/vanstermeny/rapporter>> [Hämtad 2010-08-06]

Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem (2001) Å. Wahlström m fl. EFFEKTIV, samverkan för effektiv och miljövänlig energianvändning i bostäder och skolor. Tillgänglig via: <www.Effektiv.org> [Hämtad 2010-11-22]

Mätning och Verifiering - Underlag till kriteriedokument för passivhus och minienergihus, LTH rapport. (2009). Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBY. Tillgänglig på internet: <<http://www.energieffektivabyggnader.se/download/>> [Hämtad 2010-11-01]

Naturvårdverkets, *Så förändras klimatet.* Tillgänglig via: <<http://www.naturvardsverket.se/sv/Klimat-i-forandring/Sa-forandras-klimatet/>> [Hämtad 2010-11-12]

Ny teknik. Tillgänglig;
<http://www.nyteknik.se/nyheter/bygg/byggartiklar/article46702.ece>.
(2010-11-19)

Passivhus aktiverar Byggsverige, *Nyhetsartikel.* (2010). Byggindustrin Teknik. Tillgänglig på internet: <http://www.byggindustrin.com/teknik/passivhus-aktiverar-byggsverige__4770%202010-08-30> [Hämtad 2010-10-28]

PDF/DOKUMENT

Emiliaskolan. Landskrona stad. Tillgänglig;
<http://www.landskrona.se/documents/landskrona/documents/emiliaskolan.pdf> (2010-08-25)

Ditt kontor är utrustat med IDCC. Brukarinformation. Lindinvent AB. Tillgänglig via:<http://www.lindinvent.se/fileadmin/user_upload/produkter/tilluftsdon/TTD/TTD_BI15.pdf> [Hämtad 2010-09-20]

Isover Multi-Comfort House nordiskt klimat. Handbok (2008). Saint- Gobain Isover Scandinavia. Tillgänglig via: <[http://isover-se.synkronvia.com/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/Multi Comfort%20H%20Nordiskt%20kli.pdf](http://isover-se.synkronvia.com/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/Multi%20Comfort%20H%20Nordiskt%20kli.pdf)> [Hämtad 2010-11-09]

L. Martinsson. *Passivhusteknik i ett svenskt klimat, - en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt,* examensarbete inom Väg- och Vattenbyggnad, Chalmers

Miljöklassad Byggnad. Informationsbroschyr.(2009) ByggaBoDialogen. Tillgänglig via:<http://www.byggabodialogen.se/upload/Pdf-filer/Miljoklassningbroschyr_090615_sve_screen.pdf>[Hämtad 2010-09-15]

Miljöklassad Byggnad. Manual för ny/projekterad byggnad Utgåva version 2.0 (2010). ByggaBoDialogen. Tillgänglig via <**Fel! Ogiltig hyperlänkreferens.**>[Hämtad 2010-09-01]

MTD- Självverkande tilluftsdon. Produktbeskrivning. Lindinvent AB. Tillgänglig via: <http://www.lindinvent.se/fileadmin/user_upload/produkter/tilluftsdon/MTD/MTD_PB42.pdf> [Hämtad 2010-09-20]

S. Persson, E. Veibäck (2007), *Medvetenhet i energianvändning – en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i fyra kontorslokaler.* Uppsala universitet
<<http://www.energimyndigheten.se/Global/Energifakta/Medvetenhet%20i%20energiaren%20i%20användning.pdf>> [Hämtad 2010-09-03]

Projekteringsanvisningar TTD (2006). Lindinvent AB. Tillgänglig via: http://www.lindinvent.se/fileadmin/user_upload/produkter/tilluftsdon/TTD/Projekteringsanvisningar_TTD_060626.pdf [Hämtad 2010-09-20]

Ramhandling Emiliaskolan. Handling 06.2.4 Värme, sprinkler, sanitet, ventilation och styr. (2008-09-10)

TTD- Taktilluftsdon. Produktbeskrivning. Lindinvent AB. Tillgänglig via: <http://www.lindinvent.se/fileadmin/user_upload/produkter/tilluftsdon/TTD/TTD_PB41.pdf> [Hämtad 2010-09-20]

E. Viebäck (2007). *Energianvändning i skolor - en studie om samband mellan medvetenhet och energianvändning i skolor.* Statens Energimyndighet. Tillgänglig via: <<http://www.energimyndigheten.se/Global/Energifakta/F%C3%B6rb%C3%A4ttrad%20energistatistik/Energianv%C3%A4ndning%20i%20skolor.pdf>> [Hämtad 2010-09-03]

INFORMATION

Arbetsmiljöverket. www.av.se 2010-09-03

Konceptet passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader. (FEBY) Tillgänglig; <http://www.energieffektivbyggnader.se/vanstermeny/konceptetpassivhus>. (2010-10-28)

Klassningsprocess, ByggaBoDialogen. www.byggabodialogen.se 2010-09-15

Lag och rätt, Boverket. www.boverket.se 2010-09-03

Miljöklassad Byggnads granskare, ByggaBoDialogen. www.byggabodialogen.se 2010-09-15

Passivhuscentrum. www.passivhuscentrum.se 2010-10-28

Så här går det till, ByggaBoDialogen. www.byggabodialogen.se 2010-09-15

Vad mäts?, ByggaBoDialogen. www.byggabodialogen.se 2010-09-15

LAGAR/FÖRORDNINGAR

Arbetsmiljöverket. 2009. AFS 2009:2. *Arbetsplatsens utformning*. Stockholm: Arbetsmiljöverket

Boverkets byggregler. 2008 BBR15. *kapitel 6 Hygien, hälsa och miljö*. Inkl. BFS 2006:12 och 2008:6 Boverket

Regelsamling för byggande, BBR 2008, del 2 Boverkets byggregler, BBR 6:2 Hygien, hälsa, miljö; luft.

Boverkets byggregler. 2008 BBR15 *Kapitel 9, energihushållning* (2011-01-11)

Socialstyrelsen. SOSFS 1996:33 Socialstyrelsens allmänna råd om städning i skolor, förskolor, fritidshem och fritidsgårdar Tillgänglig; www.socialstyrelsen.se (2010-10-25)

Socialstyrelsen. SOSFS 1999:25 Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken - ventilation, Tillgänglig; www.socialstyrelsen.se (2010-10-25)

SIMULERINGSPROGRAM

ProClim Web. Tillgänglig;

<http://www.swegon.com/sv/Resurser/Programvaror/ProClim-Web/> (2010-09-14).

Officiell hemsida för FDS och SMV. Tillgänglig;

<http://fire.nist.gov/fds/> (2011-01-10)

Stusofts hemsida för VIP-Energy. Tillgänglig;

http://vipwebcadse.strusoft.com/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=54&lang=en

FÖRELÄSNINGAR/HANDOUTS

M. Dahlblom (föreläsning 20.4.2010) *Värmesystem*. Husbyggnads- och Installationsteknik VBFA01. Lunds Tekniska Högskola

B. Nordquist (samtal 2.11.2010) *Handledning examensarbete*. Husbyggnads- och Installationsteknik. Lunds Tekniska Högskola

B. Nordquist (föreläsning 28.10.2009) *Inneklimat*. Byggnadsteknik vid nybyggnad VBF050. Lunds Tekniska Högskola

B. Nordquist (föreläsning 25.03.2009) *Inneklimat, funktion*. Byggnadsfysik och klimatsystem VBF055. Lunds Tekniska Högskola

C. Warfvinge (föreläsning 19.3.2008) *Snabbguide för VIP+*. Installationsteknik . Lunds Tekniska Högskola

C. Warfvinge, föreläsning i Energiberäkning. Installationsteknik, VBFA01, LTH. (2010-03-18)

Bilagor

Bilaga 1, Vädring i skolor

Vädring är ett komplement till byggnadens ventilations- och värmesystem och är ett snabbt och enkelt sätt för brukaren att själv påverka inneklimatet.⁹¹

För att uppnå ett effektivt luftutbyte utan att kyla ut, krävs att vädringen sker på rätt sätt. Vädringen bör ske med jämna mellanrum eftersom den nya friska intagna luften blir "förbrukad" av personärvaro efter en tid. För att undvika dragproblem kan vädringen med fördel ske under raster när ingen vistas i rummet.⁹²

Luftutbytet beror av temperaturdifferensen inomhus- utomhus, och fönsterstorlek. Effekten av vädringen är störst i början därför bör korta vädringstider eftersträvas för att inte rummet ska kylas ut. Vädringseffekten beror även på fönsterstorlek och placering. Luftflödet fördubblas med en dubbelt så stor fönsteröppning och fönsterbredd. En fördubblad fönsterhöjd ger en ökning av luftflödet med en faktor $2\sqrt{2}$. Välj därför att vädra med fönster som är placerade på högkant. Vid vindstilla förhållanden blir effekt av vädringen liten sommardag.⁹¹

Det är viktigt att understryka att vädring endast är ett komplement till byggnadens ventilationssystem.

Birgitta Nordqvist har tagit fram en vädringshandbok med teorier, förutsättningar och resultat baserad på en enkätundersökning om lärares vädringsvanor i totalt 15 skolor: 5 i Malmö, 5 i Norrköping och 5 i Umeå, med sammanlagt 181 svar från låg- och mellanstadielärare. Det som kunde konstateras var att hälften av lärarna vädrar regelbundet minst några gånger varje dag året runt under lektionstid och att ungefär hälften vädrar varje rast hela året. Vädringen sker genom att upp till två fönster öppnas, samma antal oberoende av årstid, lektionstid och rast. Vädringen initieras av att inomhusluften känns instängd och att det är för varmt. Fönster som öppnas sitter i midjenivå.⁹²

Den kalla utomhusluften som är den största anledningen till att lärarna slutar att vädra kan inte påverkas. Den näst största posten och som kan påverkas är buller. En ny skola bör projekteras så att fönsterorientering planeras bort från bullerkällor. Väljs fönsterorienteringen åt öster bör dock solavskärmning finnas för att undvika att klassrummen blir övertempererade av förmiddagssolen.

⁹¹ Nordquist, B. (1999) Fakta och formler om vädring

⁹² Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader. (2009)

Bilaga 2, Beräkning av tidskonstant nattid

Följande beräkning används för beräkning av den dimensionerande utetemperaturen under natten. Beräkningen görs enligt FEBY:s Kravspecifikation för Passivhus.⁹³ Den dimensionerande utetemperaturen är ett mått på hur byggnaden påverkas av extrema temperaturen utomhus. Standarden är framtagen för att acceptera att rumstemperaturen högst sjunker tre grader vid en extrem utetemperatur som infaller högst en gång var tjugonde år. Den dimensionerande utetemperaturen används för att beräkna byggnadens effektbehov. För beräkningen används en framräknad tidskonstant. Tidskonstanten, τ_b , mäter hur lång tid det tar för byggnaden att reagera på hastiga temperaturförändringar utomhus eller vid avbrott av tillförd värme inomhus.

Tidskonstanten beräknas som kvoten av byggnadens värmekapacitet, som är ett mått på byggnadens värmelagringsförmåga, och transmissionsförluster genom klimatskalet samt effektförluster som beror av köldbryggor, ofrivillig luftläckage och ventilation.

För skolor används två olika driftfall; ett för dag och ett för natt. Uppdelningen används för att driften i skolbyggnader skiljer under dygnets timmar, under natten används inte samma ventilationsflöde som under dagen och byggnaden har inte samma interna värmelaster. För att beräkna byggnadens totala effektbehov används båda driftfallen, för beräkningar av rummets effektbehov används endast effektbehovet från nattfallet.

Ekvation för beräkning av tidskonstant:

$$\tau_b = \frac{\sum(m_i \cdot c_i)}{\sum(U_j \cdot A_j) + \sum(l_k \cdot \psi_k) + \rho \cdot c \cdot q_{vent} \cdot (1-v) \cdot d + \rho \cdot c \cdot q_{läck}}$$

$\sum(m_i \cdot c_i)$	byggnadens värmekapacitet, inkluderar materialskikten som ligger innanför isoleringen, innerväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]
$\sum(U_j \cdot A_j)$	de summerade transmissionsförlusterna med hänsyn till den invändiga ytan, A_j , mot uppvärmd luft [W/K]
$\sum(l_k \cdot \psi_k)$	värmeeffektförluster beroende av linjära köldbryggor [W/K]

⁹³ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader. (2009)

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

$\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d$ värmeeffektföruster som beror av ventilationsföruster, med hänsyn till temperaturverkningsgrad, v, och relativ drifttid, d [W/K]

$\rho \cdot c \cdot q_{täck}$ värmeeffektföruster pga. luftläckning [W/K]

Resultat:

Summering av ingående faktorer

Byggnadens hela värmekapacitet, $\sum(m_i \cdot c_i)$

För värmekapaciteten inkluderas alla skikt som ligger innanför isoleringsskiktet, inklusive innerväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]. För Emiliaskolan används värmekapaciteten för betong för grundplattan samt för mellanbjälklaget, som multipliceras med två för att lagringen kan ske både på undersidan och ovasidan av bjälklaget. Ytterväggarna som är träregelväggar har endast gipsskiva innanför isoleringsskikten och mellanväggarna har gips samt plywoodskivor. Nedan följer en tabell för materialen med dess egenskaper samt en summering av värmekapaciteten:

Byggsdel:	Material:	Tjocklek: d (m)	Area: A (m ²)	Densitet: ρ (kg/m ³)	Massa: $m=d \cdot A \cdot \rho$ (kg)	Värmekapacitet c (J/kgK)	Värmekapacitet: $m \cdot c$ (J/K)
Platta på mark	Betong	0,1	1480	2300	340170	900	306153000
Yttervägg	Gips	0,026	970	900	22675	800	18139680
Yttertak	TRP	0,001	2220	7800	17304	500	8652150
Mellanvägg	Gips	0,025	3290	900	73994	800	59194800
Mellanvägg	Spån-skiva	0,024	3290	500	39463	1500	59194800
Mellanbjklag	Betong	0,2	1480	2300	680340	900	612306000
						Summa:	1063640430

Transmissionsföruster, $\sum(U_j \cdot A_j)$

Nedan summeras alla transmissionsföruster genom klimatskalet. Byggnadsdelarna är grundplattan, ytterväggar, fönster, dörrar samt tak. Grundplattan summeras för sig eftersom den uppdelas beroende av avståndet från ytterkant av grunden.

Grund, med U-värde för grundplatta= 0,8:

	Area (m ²)	R, för marken (m ² K/W)	U, mark inräknat: (1/(1/U)+R) (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A (W/K)
0 - 1 m	195	0,7	0,076	14,77
1 - 6 m	827	2,2	0,068	56,26
6 - ... m	457	2,7	0,066	30,07
			Summa:	101,10

Övriga byggnadsdelar:

Byggnadsdel:	Area: (m ²)	Värmegenomgångsk. U: (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A: (W/K)
Vägg	970	0,09	87,21
Fönster	300	0,94	282,94
Tak	1480	0,09	133,11

Den totala transmissionsförlusten blir:

$$101,10 + 87,21 + 282,94 + 133,11 = 604,36 \text{ W/K}$$

Förluster pga ventilation, $\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d$

För detta fall beräknas tidskonstanten för nattetid. Eftersom ventilationen är inställd på återluft kommer denna term ej bidra med någon transmissionsförlust.

Förluster pga köldbryggor, $l_k \cdot \psi_k$

För denna faktor summeras byggnadens linjära köldbryggor. De mest inverkan på köldbryggorna hittas vid väggens anslutning till grunden, fönsterinfästning, anslutningen vid mellanbjälklag och tak. Värmegenomgångskoefficienten för köldbryggorna är, Ψ , är hämtade från *Passivhusteknik i ett svenskt klimat*, - examensarbete inom Väg- och Vattenbyggnad, Chalmers av Linda Martinsson⁹⁴

Köldbrygga:	Längd, l: (m)	Värmegenomgångsk. Ψ : (W/mK)	Transmissionsförlust: l· Ψ : (W/K)
Grund	208	0,045	9,36
Fönster	741	0,148	109,67
Mellanbjkl + Tak	416	0,010	4,16
		Summa:	123,19

⁹⁴ L. Martinsson. Passivhusteknik i ett svenskt klimat.

Förluster pga läckage, $\rho \cdot c \cdot q_{läck}$

För att klassas som passivhus krävs ett läckage genom klimatskalet som underskrider 0,3 l/s vid ett tryck av 50 Pa. Under byggnationen av Emiliaskolan har tryckprovning visat ett läckage på 0,13 l/s. Under förvaltningen kan dock läckaget bli större genom genomtagning av plastfolien. Därför beräknas läckaget för 0,2 l/s. Trycket kommer dock inte vara 50 Pa i byggnaden utan för beräkningen används en reducering till 4% av läckaget. Flödet blir därmed 0,008 l/s, densiteten för luft är 1200 kg/m³ och värmekapaciteten är 1000 J/kg.

$$\rho \cdot c \cdot q_{läck} = 1200 \cdot 1000 \cdot 0,000008 = 9,6 \text{ W/K}$$

Tidskonstant, τ_b

Insättning av uträknade värden i ekvationen för tidskonstanten ger:

$$\tau_b = \frac{1063640430}{604,36 + 123,19 + 9,60} = 1442909$$

Byggnadens totala värmekapacitet delat på summan av transmissions- och andra värmeeffektörluster ger en tidskonstant på 1442909 sekunder vilket motsvarar 401 timmar.

Tidskonstanter över 300 timmar ska enligt FEBY:s kravspecifikation sättas till 300 timmar för att varaktigheten i en period vid DUT₂₀ inte ska bli orimligt lång.

300 timmar ger enligt Tabell 1 i FEBY:s kravspecifikation en dimensionerande utetemperatur på -6,5°C.

Bilaga 3, Beräkning av tidskonstant, dagtid

Följande beräkning används för beräkning av den dimensionerande utetemperaturen under dagtid. Beräkningen görs enligt FEBY:s Kravspecifikation för Passivhus.⁹⁵ För skolbyggnader beräknas en dimensionerande utetemperatur för dagtid och för nattetid. Anledningen är att driftfallen skiljer sig åt under natt och dag. Vid beräkning av hela byggnadens effektbehov kommer följande dimensionerande utetemperatur att användas.

$$\tau_b = \frac{\sum(m_i \cdot c_i)}{\sum(U_j \cdot A_j) + \sum(l_k \cdot \psi_k) + \rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d + \rho \cdot c \cdot q_{läck}}$$

$\sum(m_i \cdot c_i)$	byggnadens värmekapacitet, gäller de skikt som ligger innanför isoleringsskiktet, inkluderar innerväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]
$\sum(U_j \cdot A_j)$	de summerade transmissionsförlusterna med hänsyn till den invändiga ytan, A_j , mot uppvärmd luft [W/K]
$\sum(l_k \cdot \psi_k)$	värmeeffektörluster beroende av linjära köldbryggor [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d$	värmeeffektörluster som beror av ventilation, med hänsyn till systemets verkningsgrad, v , och relativ drifttid, d [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{läck}$	värmeeffektörluster pga. luftläckning [W/K]

Byggnadens värmekapacitet, $\sum(m_i \cdot c_i)$

För värmekapaciteten inkluderas alla skikt som ligger innanför isoleringsskiktet, inklusive innerväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]. För Emiliaskolan används värmekapaciteten för betong för grundplattan samt för mellanbjälklaget, som multipliceras med två för att lagringen kan ske både på undersidan och ovasidan av bjälklaget. Ytterväggarna som är träregelväggar har endast gipsskiva innanför isoleringsskikten och mellanväggarna har gips samt plywoodskivor. Nedan följer en tabell för materialen med dess egenskaper samt en summering av värmekapaciteten:

⁹⁵ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader. (2009)

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

Byggsdel:	Material:	Tjocklek: d (m)	Area: A (m ²)	Densitet: ρ (kg/m ³)	Massa: m=d·A·ρ (kg)	Värmekapacitet c (J/kgK)	Värmekapacitet: m·c (J/K)
Platta på mark	Betong	0,1	1480	2300	340170	900	306153000
Yttervägg	Gips	0,026	970	900	22675	800	18139680
Yttertak	TRP	0,001	2220	7800	17304	500	8652150
Mellanvägg	Gips	0,025	3290	900	73994	800	59194800
Mellanvägg	Spån-skiva	0,024	3290	500	39463	1500	59194800
Mellanbjklag	Betong	0,2	1480	2300	680340	900	612306000
						Summa:	1063640430

Transmissionsförluster, $\sum(U_j \cdot A_j)$

Nedan summeras alla transmissionsförluster genom klimatskalet. Byggnadsdelarna är grundplattan, ytterväggar, fönster, dörrar samt tak. Grundplattan summeras för sig eftersom den uppdelas beroende av avståndet från ytterkant av grunden.

Grund, med U-värde för grundplatta= 0,8:

	Area (m ²)	R, för marken (m ² K/W)	U, mark inräknat: (1/(1/U)+R) (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A (W/K)
0 - 1 m	195	0,7	0,076	14,77
1 - 6 m	827	2,2	0,068	56,26
6 - ... m	457	2,7	0,066	30,07
			Summa:	101,10

Övriga byggnadsdelar:

Byggnadsdel:	Area: (m ²)	Värmeledning: U: (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A: (W/K)
Vägg	970	0,09	87,21
Fönster	300	0,94	282,94
Tak	1480	0,09	133,11

Den totala transmissionsförlusten blir:

$$101,10 + 87,21 + 282,94 + 133,11 = 604,36 \text{ W/K}$$

Förluster pga ventilation, $\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d$

Det är denna faktor som skiljer nattfallet från dagfallet. Under dagen finns en ventilation med 100% uteluft som kyler ner byggnaden. Det maximala ventilationsflödet under maximal personlast är 5435 l/s. Systemets verkningsgrad sätts till 80%.

$$\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d = 1000 \cdot 1,2 \cdot 5,435 (1-0,8) = 1304,4 \text{ W/K}$$

Förluster pga köldbryggor, $l_k \cdot \psi_k$

För denna faktor summeras byggnadens linjära köldbryggor. De mest inverkan på köldbryggorna hittas vid väggens anslutning till grunden, fönsterinfästning, anslutningen vid mellanbjälklag och tak. Värmeegenomgångskoefficienten för köldbryggorna är, Ψ , är hämtade från *Passivhusteknik i ett svenskt klimat*, - examensarbete inom Väg- och Vattenbyggnad, Chalmers av Linda Martinsson⁹⁶.

Köldbrygga:	Längd, l: (m)	Värmeegenomgångsk. Ψ : (W/mK)	Transmissionsförlust: l · Ψ : (W/K)
Grund	208	0,045	9,36
Fönster	741	0,148	109,67
Mellanbjkl + Tak	416	0,010	4,16
		Summa:	123,19

Förluster pga läckage, $\rho \cdot c \cdot q_{läck}$

För att klassas som passivhus krävs ett läckage genom klimatskalet som underskrider 0,3 l/s vid ett tryck av 50 Pa. Under byggnationen av Emiliaskolan har tryckprovning visat ett läckage på 0,13 l/s. Under förvaltningen kan dock läckaget bli större genom genomtagning av plastfolien. Därför beräknas läckaget för 0,2 l/s. Trycket kommer dock inte vara 50 Pa i byggnaden utan för beräkningen används en reduktion till 4% av läckaget. Flödet blir därmed 0,008 l/s, densiteten för luft är 1200 kg/m³ och värmekapaciteten är 1000 J/kg.

$$\rho \cdot c \cdot q_{läck} = 1200 \cdot 1000 \cdot 0,000008 = 9,6 \text{ W/K}$$

Tidskonstant, τ_b

Insättning av uträknade värden i ekvationen för tidskonstanten ger:

$$\tau_b = \frac{1063640430}{604,36 + 123,19 + 1304,40 + 9,60} = 520997$$

⁹⁶ L. Martinsson. Passivhusteknik i ett svenskt klimat.

Byggnadens totala värmekapacitet delat på summan av transmissions- och andra värmeeffektförbrukningar ger en tidskonstant på 520997 sekunder vilket motsvarar 145 timmar. Enligt tabell fås $DUT_{20} = -9,7^{\circ}\text{C}$.

Bilaga 4, Beräkning av effektbehov

Följande beräkning används för beräkning av effektbehovet. Beräkningen görs enligt FEBY:s Kravspecifikation för Passivhus.⁹⁷

Effektbehovet beräknas som summan av byggnadens värmeförluster via transmission och ventilation vid dimensionerande utetemperatur, (som bestäms efter tidskonstanten). Den interna spillvärmens sätts till ett schablonvärde. Ventilationens värmeeffektörluster tas även hänsyn till i beräkningen. Vädring och solinstrålning bortses från eftersom det är vid DUT som beräkningen utförs.

$$P_{\max} = P_{\text{byggnad}}$$

$$P_{\text{byggnad}} = \left(\left(\sum (U_j \cdot A_j) + \sum (l_k \cdot \psi_k) + (q_{\text{läck}} + q_{\text{vent}}(1-v))\rho \cdot c \right) \cdot \left((20 - DUT_{20}) + \sum (U_m \cdot A_m) \cdot (20 - T_{\text{mark}}) - P_{\text{intern}} \right) \right) / A_{\text{temp}}$$

$\sum(U_j \cdot A_j)$	de summerade transmissionsförlusterna med hänsyn till den invändiga ytan, A_j , mot uppvärmd luft [W/K], exklusive $(U_m \cdot A_m)$
$\sum(U_m \cdot A_m)$	summan av transmissionsförlusterna med hänsyn till invändig yta mot mark, och markens temperatur. [W/K]
$\sum(l_k \cdot \psi_k)$	värmeeffektörluster beroende av linjära köldbryggor [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{\text{vent}}(1-v) \cdot d$	värmeeffektörluster som beror av ventilation, med hänsyn till systemets verkningsgrad, v , och relativ drifttid, d [W/K]
$\rho \cdot c \cdot q_{\text{läck}}$	värmeeffektörluster pga. luftläckning [W/K]
P_{intern}	intern spillvärme

För skolor används två olika driftfall för effektberäkningen, ett för natt och ett för dag. Dessa får högst uppgå till effektkravet $10 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp+garage}}$, för zon III.

⁹⁷ Kravspecifikation för Passivhus. Forum för Energieffektiva Byggnader. (2009)

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

- Driftfall 1, byggnaden ej i bruk.
Avstängt uteluftsflöde, areaspecifik spillvärme från apparater på maximalt 0,5 W/m² lokalarea.
- Driftfall 2, byggnad i bruk
Minsta uteluftsflöde vid maximal personlast, areaspecifik spillvärme från apparater på maximalt 5 W/m² lokalarea. Personspecifik spillvärme från personer på maximalt 70 W/person.

Olika tidskonstanter och DUT_{20} gäller för de olika driftfallen. I driftfall 1 sätts $q_{vent}=0$ och för driftfall 2 sätts drifttid $d=1$ och $q_{vent}=0,35 \cdot A_{temp} + 7 \cdot \text{max antal personer}$.

Transmissionsförluster, $\sum(U_j \cdot A_j)$ för alla komponenter i klimatskalet förutom grund.

Transmissionsförluster för ytterväggar, tak samt fönster och dörrar sammanställs nedan:

Byggnads del:	Area: (m ²)	Värmeledning: U: (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A: (W/K)
Vägg	970	0,09	87,21
Fönster	300	0,94	282,94
Tak	1480	0,09	133,11

En summering av transmissionsförlusterna ger:
87,21 + 282,94 + 133,11 = 503,26 W/K

Transmissionsförluster, $\sum(U_m \cdot A_m)$ genom mark

Grund, med U-värde för grundplatta= 0,8:

	Area (m ²)	R, för marken (m ² K/W)	U, mark inräknat: (1/(1/U)+R) (W/m ² K)	Transmissionsförlust: U·A (W/K)
0 - 1 m	195	0,7	0,076	14,77
1 - 6 m	827	2,2	0,068	56,26
6 - ... m	457	2,7	0,066	30,07
			Summa:	101,10

Förluster pga ventilation, $\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d$

Under natten under vintern kommer ventilationen använda återluft med en verkningsgrad på 100%, det betyder att termen för förluster pga ventilation sätts till 0.

Under dagen finns en ventilation med 100% uteluft som kyler ner byggnaden. Det maximala ventilationsflödet under maximal personlast är 5435 l/s. Systemets verkningsgrad sätts till 80%.

$$\rho \cdot c \cdot q_{vent}(1-v) \cdot d = 1000 \cdot 1,2 \cdot 5,435 (1-0,8) = 1304,4 \text{ W/K}$$

Förluster pga köldbryggor, $l_k \cdot \psi_k$

För denna faktor summeras byggnadens linjära köldbryggor. De mest inverkan på köldbryggorna hittas vid väggens anslutning till grunden, fönsterinfästning, anslutningen vid mellanbjälklag och tak. Värmeegenomgångskoefficienten för köldbryggorna är, Ψ , är hämtade från *Passivhusteknik i ett svenskt klimat*, - examensarbete inom Väg- och Vattenbyggnad, Chalmers av Linda Martinsson⁹⁸.

Köldbrygga:	Längd, l: (m)	Värmeegenomgångsk. Ψ : (W/mK)	Transmissionsförlust: l · Ψ : (W/K)
Grund	208	0,045	9,36
Fönster	741	0,148	109,67
Mellanbjkl + Tak	416	0,010	4,16
		Summa:	123,19

Förluster pga läckage, $\rho \cdot c \cdot q_{läck}$

För att klassas som passivhus krävs ett läckage genom klimatskalet som underskrider 0,3 l/s vid ett tryck av 50 Pa. Under byggnationen av Emiliaskolan har tryckprovning visat ett läckage på 0,13 l/s. Under förvaltningen kan dock läckaget bli större genom genomtagning av plastfolien. Därför beräknas läckaget för 0,2 l/s. Trycket kommer dock inte vara 50 Pa i byggnaden utan för beräkningen används en reduktion till 4% av läckaget. Flödet blir därmed 0,008 l/s, densiteten för luft är 1200 kg/m³ och värmekapaciteten är 1000 J/kg.

$$\rho \cdot c \cdot q_{läck} = 1200 \cdot 1000 \cdot 0,000008 = 9,6 \text{ W/K}$$

Dimensionerande utetemperatur DUT_{20}

Byggnadens totala värmekapacitet delat på summan av transmissions- och andra värmeeffektörluster ger en tidskonstant på 406 timmar under natten, detta ger en DUT_{20} på -6,5°C. Under dagen är tidskonstanten 145 timmar som ger $DUT_{20} = -9,7°C$. Beräkningar för DUT_{20} hittas i bilaga XX samt XX+1.

Markens temperatur, T_{mark}

Fås från Tabell 2 i FEBY:s Kravspecifikation för Passivhus; januarivärdet för Sturup, för lerig mark ger 4,6°C.

⁹⁸L. Martinsson. Passivhusteknik i ett svenskt klimat.

Intern spillvärme, P_{intern}

Eftersom byggnaden ska täcka sitt värmebehov genom de interna värmelasterna har byggnaden projekterats med en hög belysningseffekt, upp till 12 W/m² i klassrum. Skolor används vanligen med en hög personbelastning under dagtid och kan till och med vanligt bli underdimensionerade för sin personlast. Därför har den maximalt tillåtna spillvärmens används vid beräkningen. Enligt FEBY är denna maximalt 5 W/m² från apparater och 70 W/person.

Area: 3 000 m²

Personlast: 350 st

$$P_{intern} = 5 \cdot 3000 + 350 \cdot 70 = 39\,500 \text{ W}$$

Resultat:

Med framtagna värden insatta i ovan nämnda formel fås följande effektbehov:

$$P_{byggnad,dag} = \left(\frac{(503,3 + 101,1 + 123,2 + 9,6 + 1304,4) \cdot (20 - -9,7) +}{101 \cdot (20 - 4,6) - 39500} \right) / 3000 = 7,6$$

$$P_{byggnad,natt} = \left(\frac{(503,3 + 101,1 + 123,2 + 9,6) \cdot (20 - -6,5) +}{101 \cdot (20 - 4,6)} \right) / 3000 = 7,0$$

Med DUT₂₀ = -16, enligt ramhandlingarna, fås:

$$P_{byggnad,natt} = \left(\frac{(503,3 + 101,1 + 123,2 + 9,6) \cdot (20 - -16) +}{101 \cdot (20 - 4,6)} \right) / 3000 = 9,4$$

$$P_{byggnad,dag} = \left(\frac{(503,3 + 101,1 + 123,2 + 9,6 + 1304,4) \cdot (20 - -16) +}{101 \cdot (20 - 4,6) - 39500} \right) / 3000 = 11,9$$

Emiliaskolan effektbehov blir 7,6 W/m²A_{temp} för dagsfallet och 7,0 W/m²A_{temp} för nattfallet.

Bilaga 5, Indata ProClim Web

Följande indata har används i ProClim Web för att beräkna vilka rum som är i behov av tillsatsvärme i kapitel 11.

Min temp	- 16°C / -6,5°C
Yttemp på andra sidan innervägg	21,6°C
Yttemp på andra sidan mellanbjälklag	21,5°C
Yttemp på andra sidan vägg mot ouppvärt trapphus	6°C / 11°C

Konstruktion	u-värde [W/m²K]
Ppm	0,099
Yttervägg	0,093
yttervägg mot ouppvärt trapphus	0,092
Innervägg	0,551
Tak	0,095
Mellanbjälklag	2,672
Fönster	0,094

Drift	
Drifttid värme	17.00- 07.00
Värmeåtervinning vvx	78 %
Fläktdrift	07.00 -17.00
Börvärde rumstermostat kyla	23°C
Börvärde rumstermostat värme	21°C
Tilluftstemperatur	15°C

Specifik indata för aktuellt rum

Geometri
Orientering
Horisont
Min tilluftflöde

Bilaga 6, Indata VIP- Energy

Följande indata har används i VIP- Energy för beräkning av energianvändning i kapitel 11.

VIP SNABBDATA						
SFP	2					
Värmeåtervinning	80%					
Lufttätthet vid 50Pa	0,3 l/s					
u-värde fönster	0,90					
g-värde fönster	0,32					
ALLMÅN INDATA						
Solreflektion från mark	20%					
Golvarea	2662m ²					
Värmeledningstal mark	2,3 W/m ² K					
KLIMATDATA MALMÖ	max	Medel	min			
Utetemperatur	26 °C	8,1 °C	- 11 °C			
RF	100%	79,40%	37%			
BYGGNADSEDELAR						
- väggar och bjälklag	Area [m ²]	U-värde [W/m ² K]	Ötätetsfaktor [l/s,m ²]			
Fasad norr	213,4	0,09	0,3			

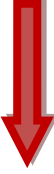
Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

Fasad öster	270,0	0,09	0,3	
Fasad söder	186,0	0,09	0,3	
Fasad väster	289,0	0,09	0,3	
PPM 0-1m	211,0	0,116	0,8	
PPM 1-6m	842,0	0,102	0,8	
PPM >6m	513,0	0,097	0,8	
Tak	1620,0	0,09	0,8	
Mellanbjälklag	2402,0	-	0,8	
Mellanväggar	2088,0	-		
Köldbryggor	91,0	1,029	0,3	
BYGGNADSEDELAR				
- fönster, dörrar				
Fönster				
Glasandel	80%			
g-värde	0,3			
U-värde [W/m ² K]	0,9			
Otätthetsfaktor [l/s,m ²]	0,3			
Dörrar				
Glasandel	50%			

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

g-värde		0,3						
U-värde [W/m ² K]		1,0						
Otätthetsfaktor [l/s,m ²]		0,3						
	Area [m ²]							
Fönster norr		52						
Dörr norr		16						
Fönster öster		60						
Dörr öster		0						
Fönster söder		49	Försämrad fläkteffektivitet till 1500 Pa		Försämrad verksamhetsgrad till 50 %, pga. otillräckligt underhåll			
Dörr söder		10	leder till ett SFP-tal på 3, pga. sämre val av fläkt		Höjning av tilluftstemperatur till 19 °C, pga. klagomål på drag			
Fönster väster		78						
Dörr väster		11						
Solskydd persienn								
Reduktion		80%						
VENTILATIONS-AGGREGAT								
FTX	Fläcktryck [Pa]	1000	Verk.gr återv. [%]	77	min tilluftstemp [°C]	15	Ute temp. Lägsta [°C]	-20
FTXnatt		1000		100		18		-20

Passivhusteknikens funktion i brukarskedet

	Veckodagar	Startdag- Slutdag	Starttid- Sluttid	
DRIFTTIDER				
VENT.AGGREGAT				
FTX	måndag-fredag	1-365	06.00-18.00	
FTXnatt	måndag-fredag	1-365	18.00-06.00	
	lördag-söndag	1-365	00.00-24.00	
VERKSAMHETSENERGI				
RUMSLUFT				
mellan kl 06.00-18.00	W/m ²		Byte till lågenergibelysning innebär 1/3 reduktion av dess värmeeffekt	
	5 till 7			
PERSONVÄRME	W/m ²			
mellan kl 06.00-18.00	1 till 5			

Felaktig vädring, ett schablonvärde på 4kWh/Atemp som tillägg på uppvärmningsenergin

Missuppskattad personbelastning. En halverad personbelastning innebär en halverad alstring av personvärme, 1/5 reduktion av belysningseffekten samt reducerat ventilationsflöde

Missuppskattad personbelastning. Personbelastningen ökar med en faktor 1,5 innebär en lika stor ökning av personvärme, 1/5 ökning av belysningseffekten samt ökat ventilationsflöde

