



# Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år

*The influence of technology development on energy usage in buildings during 100 years*

Maria Gårdestedt

**EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

## **SAMMANFATTNING**

Detta examensarbete i energiteknik har utförts på uppdrag av företaget ABB och avdelningen Energy Efficiency under våren 2013. Syftet med arbetet är att ta fram ett underlag för energianalyser där åtgärder kan föreslås och prioriteras efter ålder på byggnader. De typer av byggnader som undersöks är flerbostadshus och kontorslokaler.

En road map har tagits fram för att skapa en översikt över de senaste 100 årens fastighetsteknik. Därefter har en analys gjorts över teknikutvecklingens påverkan på energianvändning med fokus på byggnadens ingående komponenter i ventilations- och värmesystem, inom belysning och i klimatskärmens uppbyggnad. Förslag på åtgärder med energibesparingspotential föreslås och prioritering av dessa görs för olika tidsepoker. Både beräkningar och uppskattningar med hjälp av tillgängligt material inom ämnet fastighetsteknik och energieffektivisering presenteras. En analys av en befintlig byggnad har utförts för att verifiera det material som tagits fram i projektet. Krav för energianvändning har undersökts och hänvisningar ges till byggnadsregler för olika tidsperioder.

En utveckling av fastighetstekniken har skett under de senaste 100 åren. Bland annat byggs husen numer i färdiga element i allt större utsträckning och moderna byggnadsmaterial har också bättre isoleregenskaper jämfört med tidigare. Samtidigt som teknik och material har blivit mer energieffektiva har användningen av eldrivna komponenter i exempelvis ventilationssystem ökat. Reglertekniken utvecklas och värme- och ventilationssystem samt belysning kan styras efter behov och kan därmed leda till en lägre energianvändning i en byggnad.

Åtgärdsförslag och prioritet varierar beroende på varje byggnads individuella utformning. Vid bedömning av besparingspotentialen av åtgärder bör varje enskild byggnad bedömas individuellt och analyseras utifrån ett helhetsperspektiv. Besparingspotentialer bör beräknas via simulering för att få en mer gedigen bedömning för olika byggnadstyper.

## **ABSTRACT**

This master's thesis in energy technique has been carried out for the company ABB and the Energy Efficiency department during the spring 2013. The purpose of the thesis is to create a material to use during energy analyses in buildings where measures can be suggested and prioritized in regard to the age of the buildings. The types of buildings analyzed are apartment buildings and office premises.

A road map has been created to give an overview over the last 100 years of real estate technique with focus on energy. Thereafter an analysis has been made of the influence of technique development on energy use in buildings, focusing on the included components in ventilation and heating systems, lighting installations and the building structure.

Measures with energy saving potential are suggested and are prioritized for different time periods. Both calculated examples and estimations with help from available literature in the subject real estate technique and energy efficiency is presented. An analysis of an existing building has been done to verify the material that has been produced in the project. A research of the demands on energy use has been done and references to building regulations for different time periods are presented.

The real estate technique has developed under the last 100 years. Today the buildings are more often build in readymade elements and the modern building materials has better isolation properties compared to earlier time periods. At the same time as the technique and materials has become more energy efficient, the use of electrical components in for example the ventilation system has increased. The regulation technique has been developed and the ventilation and heating systems, as well as lighting installations, can be controlled on demand and thereby lead to a reduced energy use in buildings.

Energy measures suggestions for the different time periods and the prioritization of those vary, depending on the individual construction of a building. To make an evaluation that is fair, every building should be considered and analyzed individually and it is important to have a holistic perspective. The savings potential should be calculated with simulations to obtain a more dependable evaluation for different kinds of buildings.

## **Förord**

Detta examensarbete omfattar 30 hp och är en obligatorisk kurs i Civilingenjörsexamen i energiteknik vid institutionen för Tillämpad Fysik och Elektronik (TFE) vid Umeå universitet.

Jag vill tacka mina handledare Mohsen Soleimani-Mohseni för respons och handledning och Anna Wahlberg för feedback under arbetets gång. Jag vill också tacka Jan Lidström för givande och inspirerande diskussioner om byggnader och deras energianvändning. Jag vill även tacka övrig personal på ABB för ett trevligt bemötande.

Jag vill också rikta ett tack till min familj, min mamma Gunilla och pappa Daniel och mina kära systrar, Lisa, Jenny och Caroline som alltid stöttar mig och finns där för mig. Jag vill också tacka min kära pojkvän Joacim som alltid peppar mig att ge allt, jag älskar er alla.

Ludvika, september 2013

Maria Gårdestedt

# Innehållsförteckning

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INLEDNING .....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.1. Bakgrund.....   | 7         |
| 1.2. Syfte och målsättning.....  | 7         |
| 1.3. Avgränsningar.....  | 7         |
| 1.4. Metod.....  | 8         |
| <b>2. TEORI.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>3. ÖVERGRIPANDE BESKRIVNING.....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1. Krav på energianvändning i byggnader .....                                  | 14        |
| 3.1.1. Utveckling av Boverkets byggregler .....                                  | 14        |
| 3.2. Ventilationssystem.....   | 15        |
| 3.3. Uppvärmningssystem.....   | 22        |
| 3.4. Komfortkyla.....  | 24        |
| 3.5. Belysning .....   | 25        |
| 3.6. Byggnadskonstruktion och material .....                                     | 26        |
| 3.7. Hissar .....  | 27        |
| <b>4. ROAD MAP .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>5. TENIKENS PÅVERKAN PÅ ENERGIANVÄNDNING .....</b>                            | <b>35</b> |
| 5.1. Ventilation .....   | 35        |
| 5.2. Värmesystem .....   | 39        |
| 5.2.1. Pannverkningsgrad och energinnehåll i bränslen.....                       | 39        |
| 5.2.2. Uppvärmningsalternativ och exergi .....                                   | 40        |
| 5.2.3. Förutsättningar för värmesystem.....                                      | 41        |
| 5.3. Belysning .....   | 42        |
| 5.4. Huskonstruktion.....  | 44        |
| <b>6. ÅTGÄRDSFÖRSLAG.....</b>  | <b>46</b> |
| 6.1. Ventilation- Injustering .....  | 47        |
| 6.2. Ventilation- Fläktar.....   | 47        |
| 6.3. Ventilation- Fläktmotorer .....   | 48        |
| 6.4. Ventilation- Behovsanpassning .....   | 49        |
| 6.5. Ventilation- Värmeåtervinning med frånluftsvärmepump.....                   | 49        |
| 6.6. Ventilation- värmeåtervinning med värmeväxlare .....                        | 49        |
| 6.7. Värme- Injustering, luftning och rengöring av vattenburet värmesystem ..... | 50        |
| 6.8. Värme- Lågflödessystem .....  | 51        |
| 6.9. Värme- Termostatventiler och inomhusgivare .....                            | 51        |
| 6.10. Värme- Individuell mätning .....   | 52        |
| 6.11. Värme- Cirkulationspumpar.....   | 52        |
| 6.12. Fastighetsel – Belysning: Alternativa ljuskällor .....                     | 52        |
| 6.13. Fastighetsel – Belysning: Reglering och styrning.....                      | 55        |
| 6.14. Fastighetsel – Hissar: Styrning och reglering .....                        | 55        |
| 6.15. Åtgärder klimatskärm.....  | 56        |
| 6.16. Klimatskärm- Isolering av vindsbjälklaget .....                            | 57        |
| 6.17. Klimatskärm- Isolering av väggar och grundkonstruktion .....               | 57        |
| 6.18. Klimatskärm- Fönsterbyte.....  | 58        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 6.18.1.    | Livslängd hos material och system.....       | 60        |
| 6.19.      | Kontrollsystem .....                         | 61        |
| <b>7.</b>  | <b>ÅTGÄRDSFÖRSLAG UTIFRÅN TIDSEPOK.....</b>  | <b>62</b> |
| 7.1.       | 1910-talet .....                             | 62        |
| 7.2.       | 1920-talet .....                             | 63        |
| 7.3.       | 1930-talet .....                             | 64        |
| 7.4.       | 1940-talet .....                             | 65        |
| 7.5.       | 1950-talet .....                             | 66        |
| 7.6.       | 1960-talet .....                             | 66        |
| 7.7.       | 1970-talet .....                             | 67        |
| 7.8.       | Åtgärder klimatskärm 1950-1975 .....         | 67        |
| 7.9.       | 1980-talet .....                             | 68        |
| 7.10.      | 1990-talet.....                              | 68        |
| 7.11.      | 2000-talet.....                              | 69        |
| 7.12.      | Prioritering av tidsepokernas åtgärder ..... | 70        |
| <b>8.</b>  | <b>ANALYS AV BEFINTLIG BYGGNAD.....</b>      | <b>74</b> |
| <b>9.</b>  | <b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....</b>        | <b>77</b> |
| <b>10.</b> | <b>REFERENSER .....</b>                      | <b>79</b> |

Bilaga 1 - Road map

Bilaga 2 - Krav från Boverket

Bilaga 3 – Gradtimmetabell

Bilaga 4 – Livslängd på material och komponenter

Bilaga 5 – Beräkningsexempel tilläggsisolering

Bilaga 6 – Byggnadens system Nore

Bilaga 7 – Mall analys

Bilaga 8 – Värmeledningstal för byggnadsmaterial

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 7 of 115  |  |

## 1. Inledning

Detta examensarbete i energiteknik har utförts på uppdrag av företaget ABB och avdelningen Energy Efficiency under våren 2013. Avdelningen gör energianalyser av bland annat olika industrier i dagsläget och tanken är att utöka området för analys till att även inkludera bostadshus och lokaler.

### 1.1. Bakgrund

Lokaler och flerbostads hus stod år 2011 för 26 % respektive 30 % av Sveriges totala energianvändning för uppvärmning och varmvatten[1]. I och med detta finns en stor potential för energibesparingar med betydelse för både fastighetsägare men också för Sverige. Under det senaste årtiondet har arbetet med energieffektivisering blivit ett alltmer uppmärksammat ämne på både global och lokal nivå. Energianalyser är en metod för att utvärdera besparingspotentialen i fastigheter med avseende på energi- och kostnadsbesparingar.

Kravnivån på byggnaders energianvändning har ökat de senaste 100 åren vilket ställer krav på byggnadskonstruktion och fastighetsteknik. Energianvändning och teknik är därmed tätt sammankopplade och i samband med teknikutvecklingen följer nya metoder för energieffektivisering. För att energiåtgärderna ska ha en så effektiv verkan som möjligt, behöver åtgärderna och tekniken anpassas efter bland annat ålder på fastigheten. Med en översikt över fastighetsteknikens utveckling och dess påverkan på energianvändning kan planering inför energianalyser göras effektiv och åtgärder prioriteras. I sin tur kan detta innebära besparingar både ekonomiskt och energimässigt sätt, både för åtgärdsansvarig och för fastighetsägare.

### 1.2. Syfte och målsättning

Examensarbetet har syftet att utgöra ett underlag för energianalyser av flerbostadshus och kontorslokaler. Syftet är också att från ett energiperspektiv sett skapa en bild av hur utvecklingen inom teknik kopplat till energianvändning har sett ut under de senaste 100 åren. Med hjälp av en översikt av teknikutvecklingens påverkan på energianvändningen i byggnader, kan energiåtgärder föreslås och anpassas till ålder på fastigheten och den teknik som används. Målen med projektet är att:

- Skapa en översikt i form av en road map (tidsaxel) av fastighetsteknikens utveckling under 100 år.
- Identifiera krav och tekniska milstolpar kopplat till energianvändning.
- Analysera teknikens påverkan på energianvändning.
- Föreslå åtgärdsförslag och prioritera dessa för olika tidsperioder.
- Studera en befintlig byggnad och stämma av med framtaget material.

### 1.3. Avgränsningar

I studien är uppvärmning av tappvarmvatten inte inkluderat. I samband med utredning av klimatskärmen och dess inverkan på energianvändning är inte dörrar eller balkongers inverkan inkluderade. Det är svenska system som avses och generella åtgärder för byggnader som föreslås. I och med detta analyseras exempelvis inte komfortkyla i bostadshus eftersom det inte är vanligt i svenska bostäder.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | <i>Page: 8 of 115</i>   |  |

## 1.4. Metod

Resultaten har i huvudsak tagits fram med hjälp av en omfattande litteraturstudie. Beräkningar har också gjorts för att framställa resultat då besparingspotential och kostnader i samband med energiåtgärder har bedömts. En undersökning med intervju har också gjorts vid analys av den befintliga byggnadens system.



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 9 of 115  |  |

## 2. Teori

I följande avsnitt kommer byggnadens värmebalans att beskrivas. De system som påverkar energianvändningen kommer att beskrivas vidare i avsnitt 3 Övergripande beskrivning. Värmeeffektbehovet och värmeförlusterna i en byggnad kan beskrivas med en värmebalans mellan tillförd och bortförd värme enligt:

$$\text{Tillförd värme} = \text{Bortförd värme}$$

Värme tillförs genom:

- Solinstrålning,  $P_s$
- Internvärme,  $P_i$
- Värmesystem,  $P_w$

Värme bortförs genom:

- Transmissionsförluster,  $P_t$
- Ventilationsförluster,  $P_v$
- Förluster genom oavsiktlig ventilation eller luftläckage,  $P_{ov}$

$P_x$  står för värmeeffekten i W. Solinstrålning  $P_s$  innebär den solinstrålning som transmitteras genom fönstren. Internvärme  $P_i$  är den värme som genereras internt genom personvärme och värme från elektronisk utrustning och liknande, även kallad gratisvärme. Värmesystemets effekt är den effekt som värmesystemet avger. Förlusterna uppkommer genom bland annat transmission  $P_t$ , vilket är de värmeflöden som sker genom klimatskärmen exempelvis genom väggar och tak. Transmissionsförlusterna beror av temperaturen utomhus och ger på så sätt upphov till ett varierande effektbehov under året och varierar med det geografiska läget. Ventilationsförluster  $P_v$  är förluster som uppkommer då utgående ventilationsluft ska kompenseras där kall tilluft kommer in i byggnaden. Förluster genom oavsiktlig ventilation och luftläckage,  $P_{ov}$  utgörs av oönskat luftflöde som läcker in genom otätheter i klimatskärmen och som då ska värmas upp till rumstemperatur. Energibalansen kan beskrivas med ekvation (1) nedan.

$$P_s + P_i + P_w = P_t + P_v + P_{ov} \quad (1)$$

Det dimensionerade effektbehovet för en byggnad utgörs av förlusttermernas summa. Gratisvärme och solinstrålning får inte tillgodoräknas[2]. Förlusttermerna kan beskrivas enligt följande ekvationer (2), (3), (4) och (5).

$$P_t = \sum_{j=1}^n U_j \cdot A_j \cdot (T_i - DUT) \quad (2)$$

Där:

$U_j$  = värmegenomgångskoefficient ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A_j$  = ytans storlek ( $m^2$ )

$T_i$  = Inomhustemperatur ( $^\circ C$ )

DUT = dimensionerande utomhustemperatur ( $^\circ C$ )

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 10 of 115   |  |

DUT är en enligt Boverkets byggregler BBR beräknad utomhustemperatur som ska användas vid beräkning av dimensionerad effekt för en byggnad. Effektförlust genom ofrivillig ventilation uttrycks enligt ekvation (3):

$$P_{ov} = q_{ov} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_i - DUT) \quad (3)$$

Där:

$q_{ov}$  = okontrollerat ventilationsflöde, läckageflöde ( $m^3/s$ )

$\rho$  = luftens densitet  $1,2 \text{ kg}/m^3$

$c_p$  = lufts specifika värmekapacitet  $1000 \text{ J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$

Effektförluster genom kontrollerad ventilation kan beskrivas med ekvation (4) nedan:

$$P_v = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_i - T_{till}) \quad (4)$$

Där:

$q_v$  = kontrollerat ventilationsflöde

$T_{till}$  = tilluftstemperatur

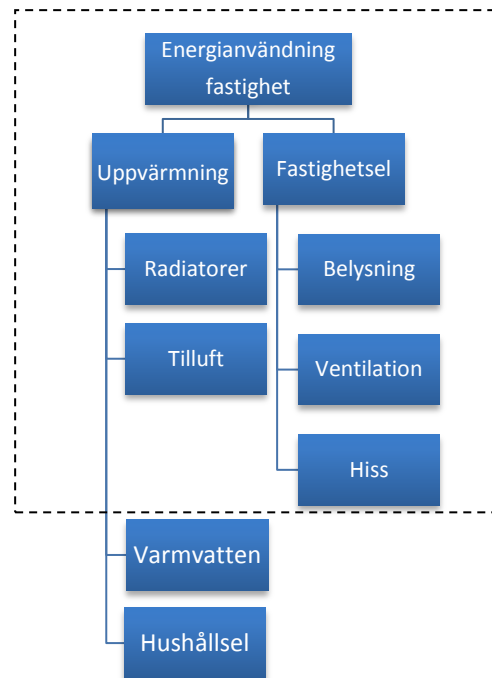
Det dimensionerade effektbehovet är sedan baserat på endast förlusttermernas summa, enligt ekvation (5):

$$P_{dim} = P_t + P_{ov} + P_v \quad (5)$$

Vid förslag på energiåtgärder gäller det bland annat att minimera förluster så att  $P_{dim}$  blir så litet som möjligt.

Byggnaders värmebalans och det dimensionerade effektbehovet påverkas av en rad olika faktorer. Byggnadens isolering, täthet, värmetröghet och geografiska läge samt intern värmegenerering och väder är faktorer som har inverkan på energibalansen[2]. De boendes vanor påverkar också hur mycket värme som förbrukas. Klimatskärmens konstruktion och material påverkar hur stora transmissionsförlusterna blir och påverkar därmed värmebehovet. Klimatskärmens täthet påverkar också vilket typ av ventilationssystem som är mest lämpat funktionsmässigt och energimässigt sett. Även energi- och elförbrukning i samband med drift av belysning och ventilationskomponenter påverkar energianvändningen. Energianvändningen i en fastighet visas i Figur 1. De delar som kommer att undersökas har markerats med en ruta i figuren.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 11 of 115   |  |



Figur 1: Undersökta poster för energianvändning i byggnad.

I de flesta bostadshus i Sverige finns vanligen inget kylsystem installerat, det är endast ett värmesystem som upprätthåller inomhustemperaturen. I lokalbyggnader däremot, som exempelvis kontorslokaler är ofta den interna värmealstringen så stor att klimatanläggning och kylning av lokalerna behövs för att upprätthålla ett bra inomhusklimat. Bland annat är belysningen en intern värmekälla som ses över för att minimera kylbehovet. Vid beräkning av transmissionsförluster i kombination med ventilationsförluster kan gradtimmermetoden användas. Gradtimmern anger byggnadens behov för uppvärmning. Antalet gradtimmar beror av det geografiska läget och fås med hjälp av normalårstemperaturen men också med hjälp av gränstemperaturen  $T_g$  för olika geografiska områden. Gränstemperaturen  $T_g$  är den temperatur till vilken det krävs aktiv uppvärmning för att värma upp byggnaden till önskvärd inomhustemperatur. Resterande värme täcks av internvärme, så kallad gratisvärme. Normalårstemperaturen för olika orter finns tabellerade och vid beräkning i detta projekt har tabell ur Warfvinge använts [2, p. 6:42]. Enligt Warfvinge kan en god approximation fås om normalårstemperaturen sätts lika med ortens medeltemperatur. Energiförbehovet,  $E$  för en byggnad kan uttryckas med hjälp av ekvation (6) nedan:

$$E = G_t \cdot Q_{tot} \quad (6)$$

Där:

$G_t$  = antalet gradtimmar, tabellvärden för olika orter finns bland annat i Bilaga 3.

$Q_{tot}$  = byggnadens specifika värmeförlust ( $W/^\circ C$ ), och uttrycks med hjälp transmissionsförluster  $Q_t$ , förluster genom luftläckage  $Q_{ov}$  och ventilationsförluster  $Q_v$ , enligt ekvation (7).

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 12 of 115   |  |

Där:

$$Q_{tot} = Q_t + Q_{ov} + Q_v \quad (7)$$

$$Q_t = \sum U_j A_j \quad (8)$$

$$Q_{ov} = q_{ov} \cdot \rho \cdot c_p \quad (9)$$

$$Q_v = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (1 - \eta) \quad (10)$$

Där:

$$\eta = \text{värmeåtervinnarens verkningsgrad (-)}$$

U-värdet för en byggnadsdel är beroende på tjockleken samt värmeledningstalet hos materialet. U-värdet i en vägg eller genom ett tak kan beräknas enligt ekvation (11) :

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (11)$$

Där:

$$R_{total} = R_{si} + \sum R_{vägg/tak} + R_{se} \quad (12)$$

Där:

$R_{si}$  = inre värmeövergångsmotstånd  
 $R_{se}$  = yttre värmeövergångsmotstånd  
 $\sum R_{vägg/tak}$  = den termiska resistansen för alla materialskikt i byggnadskonstruktionen ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

Det inre och yttre värmeövergångsmotståndet är det motstånd som måste övervinnas då värme går från luften till en väggyta eller i motsatt riktning[3]. Vid konstruktionsytor uppstår ett värmemotstånd som beror av strålningsförhållandena och luften, som blir nästintill stillastående mot väggen på grund av friktion[3]. Ju större luftrörelser omgivningen har, desto tunnare blir det stillastående skiktet och värmemotståndet minskar[3]. Normalt sett är värmemotståndet högre inomhus än utomhus eftersom det ofta blåser[3]. Eftersom värmemotstånden beror av luftrörelser är det komplicerat att beräkna exakta värden och därför används ofta så kallade säsongsmedelvärden[3]. Swedisols hemsida anger en standard EN SS-ISO 6946 och anger följande värden i  $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$  för väggar och tak [4]:

Väggar:  $R_{si} = 0,13$        $R_{se} = 0,04$   
Tak:  $R_{si} = 0,10$        $R_{se} = 0,04$

Vidare kan den termiska resistansen i ett platt materiallager uttryckas med hjälp av ekvation (13):

$$R_{vägg/tak} = \frac{L}{\lambda} \quad (13)$$

Där:

$L$  = tjockleken på materialskiktet (m)  
 $\lambda$  = värmeledningstalet för materialet ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 13 of 115   |  |

Värmeförlusterna  $\dot{Q}_{fönster}$  genom ett fönster kan beräknas med hjälp av ekvation (14):

$$\dot{Q}_{fönster} = U_{total} \cdot A_{fönster} \cdot (T_i - T_u) \quad (14)$$

Där:

$U_{total}$  = det totala värmegenomgångstalet för fönstret ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A_{fönster}$  = fönstrets yta ( $m^2$ )

$T_u$  = temperaturen utomhus

Verkningsgraden för en fläkt  $\eta_{fläkt}$  är kvoten mellan nyttig och tillförd effekt och uttrycks med hjälp av ekvation (15):

$$\eta_{fläkt} = \frac{\text{Nyttig effekt}}{\text{Tillförd effekt}} = \frac{\Delta P_t \cdot q}{P_{tillförd}} \quad (15)$$

Där:

$\Delta P_t$  är total tryckförändring över fläkt (Pa)

$q$  är luftflödet ( $m^3/s$ )

$P_{tillförd}$  är tillförd effekt (W)

Temperaturverkningsgraden för en värmeväxlare ges av ekvation (16) nedan [5]:

$$\eta = \frac{t_i - t_u}{t_f - t_u} \quad (16)$$

Där:

$t_u$  = uteluftens temperatur

$t_f$  = frånluftens temperatur innan återvinning

$t_i$  = tilluftens temperatur efter återvinning

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 14 of 115   |  |

### 3. Övergripande beskrivning

I följande avsnitt 3 kommer en beskrivning och presentation av byggnadens system att ges. Inledningsvis kommer exempel på krav och riktlinjer som finns på energianvändning och byggnader att beskrivas översiktligt. Kravens utveckling har gett byggnaderna utföranden och installationer typiska för olika tidsepoker. Efter kravens utveckling kommer de undersökta byggnadssystemen att beskrivas, det vill säga värme- och ventilationssystem, belysning samt byggnadens konstruktion (klimatskärmen). Olika typer av hissar kommer också att beskrivas.

#### 3.1. Krav på energianvändning i byggnader

I Sverige finns det olika myndigheter som ställer krav och ger rekommendationer på bland annat byggnaders inomhusklimat och utformning. Boverkets byggregler har getts ut sedan 1947 och ger bland annat riktlinjer för byggande och installationer i byggnader. I regelsamlingen från 2012 "BBR 2012" gäller riktlinjerna både vid nybyggnation och vid *ändring* av byggnad. Vid ändring av en befintlig byggnad gäller utöver utformningskrav och tekniska egenskapskrav även varsamhetskrav som ges i Plan och bygglagen PBL.

Arbetsmiljöverket ger också krav och allmänna råd om ventilation på arbetsplatser. Dagens regler och strategier innefattas också av direktiv som EU-parlamentet och EU-kommissionen infört om byggnaders energiprestanda, EPBD2 [6]. Direktivet antogs 19 maj 2010. En tidigare del av direktivet innebar i Sverige, skärpta energikrav vid nybyggnationer samt införandet av energideklarationer [6]. Direktivet EPBD2 infördes för att förbättra energiprestanda för både nya och gamla byggnader och bland annat ska alla byggnader minimera energin för uppvärmning från och med sista december år 2020[6]. Direktivet innebär också en utökning och en skärpning av energideklarationssystemet och krav på minskad energianvändning i samband med ombyggnation [6]. Svanen har kommit med kriterier som gör det möjligt att bygga och köpa småhus med svanenmärkning. Krav ställs på ingående material, god ventilation och byggprocess[7]. Citat från svanen.se:

*"Svanen ställer krav på byggprocess, material och energibehov. Hänsyn tas till miljön genom hela tillverkningsprocessen, från råvaror till färdig byggnad."*[7]

Boverkets grundförfattningar av byggregler från 1947 fram till idag beskrivs i Bilaga 2. Där ges hänvisningar till kapitel som rör ventilation, klimatskärm, värmeinstallationer och belysning men även reglering och styrning av dessa system. Nedan ges en översiktlig beskrivning utvecklingen av byggregler mellan år 1947 fram till 2012.

##### 3.1.1. Utveckling av Boverkets byggregler

Kraven har under åren 1947-2012 gått från att fokusera på inomhusklimatet och trivsel, till att i större utsträckning fokusera på installationer och byggkonstruktioners tekniska egenskaper och energiförbrukning. Fokuset på hållbar energianvändning har också ökat markant. Brandsäkerhet och skydd mot skador har varit genomgående förekommande under åren. Kraven blev enhetliga för hela landet först i samband med 1960-års regelsamling, innan dess var kraven olika för bland annat stadsbebyggelse och bebyggelse på landet. Kraven på laster och på brandsäkerhet och fukt ställer krav på material och konstruktioner som används vid byggande och har funnits i mer eller mindre utsträckning. Krav på tillräcklig isolering har funnits sedan 1947, dock har krav på maximala värmeledningstal kommit först på 1960-talet. Krav på värmeinstallationer i form av utformning och placering har alltid funnits, men kraven

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 15 of 115   |  |

på bland annat reglering och styrning av värmeinstallationer kom först med 1975-års regelsamling. Beskrivning av beräkning av dimensionerat effektbehov för byggnader kom med år 1967 års regelsamling. År 1975 kom krav och råd om energihushållning, med både värmeinstallationer, ventilation och belysning inkluderat. Här kommer också kraven om värmeåtervinning och injustering av ventilationssystemet upp för första gången. Fokus ligger på att sänka värmeanvändningen genom effektivare system och installationer. Från att endast bestå av krav på "tillräcklig" ventilation har det kommit krav på flöden och med 2012 års regelsamling, specifika fläkteffekter för olika ventilationssystem.

### 3.2. Ventilationssystem

Ventilationssystemets primära uppgift är att säkerställa en god luftkvalitet genom att tillföra frisk luft (tilluft) och föra bort förorenad luft (frånluft). Ventilationssystemet används också för att hålla ett undertryck inomhus och kan användas för att tillföra värme men också för att kyla. Ventilationen bör vara dragfri samt hålla en lagom temperatur för att människor ska trivas. Det är också viktigt att ventilationsanläggningen anpassas efter de krav som finns angående luftkvalitet och inomhusmiljö, vilka ges av Boverket, Arbetsmiljöverket och Socialstyrelsen. Det finns olika typer av ventilationssystem och dessa delas in i självdrag och mekanisk ventilation. Härmed ges en beskrivning av dessa system.

Självdagsventilation (S-system) kräver inga tekniska hjälpmedel. Drivkraften för självdagsventilationen är temperaturskillnaden och därmed densitetsskillnaden mellan inomhus- och utomhusluft. Uteluft tas in via ventiler och otätheter i klimatskärmen, se Figur 2. Stark vind förstärker också luftrörelserna.



Figur 2: Illustration av självdragssystem[8].

En förutsättning för självdrag är att luften kan passera fritt mellan rummen. Skorstenen eller murstocken som den också kallas har en viktig betydelse för hus med självdragssystem[9]. Värme bildas i murstocken vid eldning i panna, kakelugn eller kamin vilket hjälper till att driva på ventilationen [9]. Rumshöjden har betydelse för hur luften skiktas vilket i sin tur ställer olika krav på ventilationen. Vid en högre rumshöjd kan luften skikta sig i varm och sval luft, och då blir behovet av mekanisk ventilation större [10, p. 48]. I flerbostadshus med självdragssystem erhålls därför på samma sätt sämst ventilation hos lägenheter på högst belägna våningsplan [11]. Tryckskillnader avtar uppåt i en byggnad, vilket betyder att luften högst upp kan vara stillastående även om det är ett flöde längre ner i byggnaden. Högst luftväxling fås i de nedersta lägenheterna vintertid [11]. Det finns även fläktförstärkt självdrag (FFS-

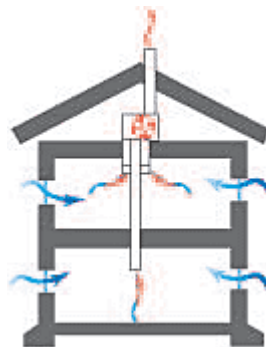
|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 16 of 115   |  |

system), som säkerställer önskad luftväxling dels på sommaren då drivkraften med självdrag är liten och under vintertid då byggnaden kan bli överventilerad.

Mekanisk ventilation innebär att mekaniskt arbete alltid krävs. Det finns följande mekaniska system:

- Frånluftsventilation (F-system)
- Från- och tilluftssystem, balanserad ventilation (FT-system)
- Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system)

De mekaniska systemen har mekaniska och eldrivna komponenter så som fläktar, fläktmotorer och värmeväxlare. Frånluftssystemet eller fläktstyrd frånluft innebär att luften i byggnaden sugts ut med hjälp av fläktar, se Figur 3. Dessa fläktar sitter vanligen i badrum/toalett, kök och tvättstuga. Fläkten i ett frånluftssystem är ständigt igång för att skapa undertryck i huset. Undertrycket är viktigt för luftcirkulationen och främst för att undvika fuktvandring inifrån och ut. Tilluften tas in via ventiler på fönsterkarmar eller på vägg.

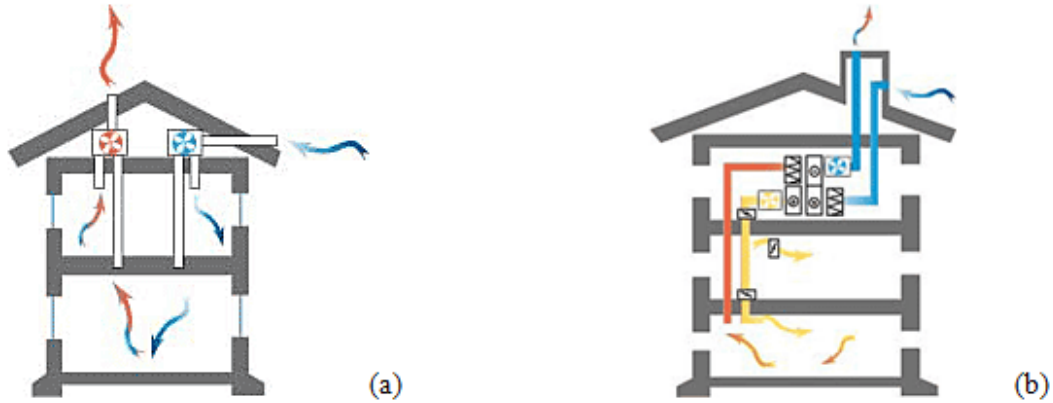


Figur 3: Illustration av frånluftsventilation.[12]

Den balanserade ventilationen utvecklades för att undvika drag från ventiler och på så sätt förbättra den termiska komforten. Systemet innebär då att tilluften filtreras och värms innan den tillförs rummen i byggnaden. För detta system krävs en fläkt, filter, värme/kylbatteri, kanalsystem och en betydligt mer avancerad styr- och regleranläggning jämfört med frånluftssystemet [10, p. 77]. Från och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system) fungerar som ett FT-system men en värmeväxlare används för att värma en del av tilluften genom att ta vara på värme ur frånluften[13]. Se en illustration av FT-systemet samt FTX-systemet i Figur 4.



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 17 of 115   |  |



Figur 4: Illustration av balanserad ventilation (FT-system) i (a) och av balanserad ventilation med värmeåtervinning (FTX-system) i (b)[14].

För och nackdelar finns med de olika ventilationssystemen och dessa ges i korthet i Tabell 1[15].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 18 of 115   |  |

Tabell 1: För och nackdelar med olika ventilationssystem[15].

| Ventilationssystem | Fördelar   | Nackdelar   |
|--------------------|--|---|
| <b>S-system</b>    | + ingen el för fläktar<br>+ inget ljud från fläktar<br>+ inget fläktutrymme behövs<br>+ litet underhållsbehov  | – svårt att kontrollera luftfördelningen i samt mellan lägenheter<br>– överventilering vintertid<br>– återvinning av värme i frånluften är ej möjligt<br>– ljud utifrån kan släppas in genom uteluftsventiler<br>– risk för drag              |
| <b>FFS-system</b>  | + liten del el för fläktar<br>+ litet utrymme behövs<br>+ litet underhållsbehov<br>+ ger upphov till lite ljud<br>+ klarar kraven på ventilation sommartid                 | – svårt att kontrollera luftfördelningen i och mellan lägenheter<br>– överventilering vintertid<br>– återvinning av värme i frånluften är ej möjligt<br>– ljud utifrån kan släppas in genom uteluftsventiler<br>– risk för drag               |
| <b>F-system</b>    | + skäligt utrymmesbehov<br>+ återvinning av värme ur frånluften möjlig<br>+ ventilationsflöde kan kontrolleras   | – el behövs för drift av fläkt<br>– kräver en viss tillsyn, underhåll och skötsel (framförallt gäller FVP)<br>– ljud utifrån kan släppas in genom uteluftsventiler<br>– känslig för ändringar av frånluftsdonens strypning<br>– risk för drag |
| <b>FTX-system</b>  | + värme ur frånluften återvinns<br>+ betydande möjligheter att styra luftväxlingen<br>+ uteluften kan filtreras<br>+ möjlighet till dragfri tillförsel av ventilationsluft | – el krävs för drift av fläktar<br>– risk för buller<br>– kräver utrymme<br>– ökat underhållsbehov  |

Fläktar används för att transportera luften från luftintag genom kanalsystem och fram till de rum som ska ventileras[5]. I och med detta måste fläktarna övervinna ett visst motstånd till följd av de kanaler, böjar och övrig ventilationsutrustning som luften ska pressas igenom[5]. Motstånden leder till ett tryckfall och detta är avgörande för valet av fläkt [5]. Ventilation ger också upphov till ljud, vilket beror på och varierar med fläkttyp [16]. Ljudet är då en funktion av både luftflödes hastighet och det genererade trycket [16]. Fläkten är en betydande elförbrukare, så om fläktens effekt minskas kan också driftkostnaderna på hela systemet sänkas och därmed är valet av fläkt av stor betydelse ur energisynpunkt.

Radialfläkten är den vanligaste typen av fläkt i ventilationsanläggningar idag [17]. Innan radialfläkten användes axialfläkten. Axialfläktens enklaste modell är propellerfläkten men de flesta är inbyggda i cylindriska kåpor, se Figur 5 för en modell på axialfläkt[5]. Vanligtvis ligger tryckfallen för en axialfläkt runt 0,05-0,3 kPa[16]. Axialfläkten passar för att förflytta stora luftvolymmer mot låg resistans[16]. Vid stora flöden så som 5 m<sup>3</sup>/s och upp mot 60 m<sup>3</sup>/s, används därmed ofta axialfläktar[16]. Fläkttypen skapar stora luftflöden vid låga tryck[16]. Ju större fläkt diameter och rotationshastighet, desto större blir trycket[16].

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

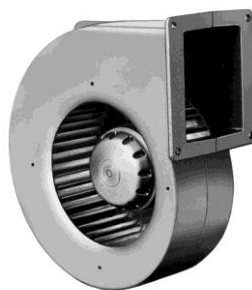
|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 19 of 115   |  |

För att uppnå normala tryck för luftbehandlingsanläggningar måste fläkten gå med högt varvtal [16]. Detta medför att axialfläktar inte passar för små luftbehandlingsaggregat eftersom storleken som då krävs, gör att höga rotationsvarvtal fordras [16]. Fläkten får högre effektbehov vid låga flöden, vilket innebär att effektbehovet ökar vid strypning av luftflödet [16].



Figur 5: Axialfläkt [16].

Radialfläktar används när det krävs relativt höga totaltryck i systemet och passar för luftflöden mellan ca  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  upp mot  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  [18, p. 257]. Fläkthjulen och skovlarnas utformning påverkar till stor del vilka egenskaper radialfläkten har [5]. Ljudproblem blir mindre med denna typ av fläkt i jämförelse med axialfläkten. Radialfläktar utnyttjar centripetalaccelerationen (centrifugalkraften) i sin förflyttning av luft och skapar på så sätt tryck och hastighetsökningar [17]. Fläkten har ett hjul med skovlar som roterar i ett snäckformat hölje (flätkåpan) [17]. Luften flödar in axiellt och strömmar ut i radiell riktning tack vare centripetalaccelerationen [17]. In- och utlopp är med andra ord placerade vinkelrätt mot varandra [17].



Figur 6: Radialfläkt [19].

Skovlarna kan vara riktade antingen bakåt eller framåt, vilket innebär att det finns två typer av radialfläktar:

- F-hjul (framåtböjda skovlar)
- B-hjul (bakåtböjda skovlar)

Radialfläktar med bakåtböjda skovlar (B-hjul) har vanligen högre verkningsgrad i förhållande till radialfläktar med framåtböjda skovlar (F-hjul). Dock har fläktar med B-hjul en tendens att vara mer utrymmeskrävande [17, 5]. Det är möjligt att uppnå en verkningsgrad på 80 % och samtidigt ha en relativt låg ljudnivå för fläktar med B-hjul [5]. Fläkthjulet är mindre för fläktar med F-hjul vilket gör att fläkten tar mindre plats [5]. Verkningsgraden kan vara uppe i ca 60 % för en F-hjulsfläkt [5].

Det Svenska Inneklimatinstitutet har infört begreppet ”den specifika fläkteffekten”, SFP, för att bedöma hur effektivt ett ventilationssystem är. Den specifika fläkteffekten för en byggnad definieras av ekvation

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 20 of 115   |  |

(17) [5]. SFP innebär den totala eleffekten för ventilationssystemets samtliga fläktar, dividerat med det totala luftflödet genom byggnaden [5]. Ju lägre värde på SFP, desto effektivare är systemet på att förflytta luften i ventilationssystemet. Vid underhåll och reparation av ett ventilationssystem ska SFP ligga på högst 2,0 och vid nybyggnation 1,5 [5].

$$SFP = \frac{P_{tf} + P_{ff}}{q_f} \quad (17)$$

Där:

$P_{tf}$  är total effekt för tilluftsfläktar (kW)

$P_{ff}$  är total effekt för frånluftsfläktar (kW)

$q$  är dimensionerat luftflöde ( $m^3/s$ )

Allmänna råd för ventilationssystem sammanställs i Boverkets regelsamling för byggande, BBR 2012 och presenteras i Tabell 2[20].

Tabell 2. SFP-värden för olika ventilationssystem ur BBR:s byggregler 2012 [20].

| Ventilationssystem                      | SFP, kW/( $m^3/s$ ) |
|---|---------------------|
| Från- och tilluft med värmeåtervinning  | 2,0                 |
| Från- och tilluft utan värmeåtervinning | 1,5                 |
| Frånluft med återvinning                | 1,0                 |
| Frånluft                                | 0,6                 |

Fläktar drivs av motorer, antingen av en växelströmsmotor (AC-motor) eller en elektronisk motor (EC-motor). Fläktmotorer drivs av elenergi och påverkar således energiförbrukningen. AC-motorer är vanligast vid fläktdrift[21] och har sedan länge använts som standardmotor, medan EC-motorer är en nyare och bättre modell.

AC-motorer har en verkningsgrad på 70-90 % vilket är baserat på den mängd elenergi som omvandlas till mekanisk energi för att transportera luften [22]. Belastning och storlek på motorn påverkar verkningsgraden; en större motor ger lägre värme- och friktionsförluster [22]. En vanlig AC-motor som drivs av växelström skapar växlande magnetiska fält inne i motorn vilket skapar rotation [22]. Den tillförda energin genererar mekaniskt arbete, men en stor del blir också till förluster i form av värme [22]. EC-motorn har permanentmagneter för att generera det magnetiska fältet och använder elektroniskt kommuterad likström för att skapa rotation[22]. Denna uppbyggnad innebär att en större del av den tillförda energin används för att skapa rotation och att en mindre del blir till värmeförluster [22]. På så sätt blir verkningsgraden högre [22].

Värmeväxlare används i FTX-system. De vanligaste typerna av värmeväxlare som används i ventilationsanläggningar är:

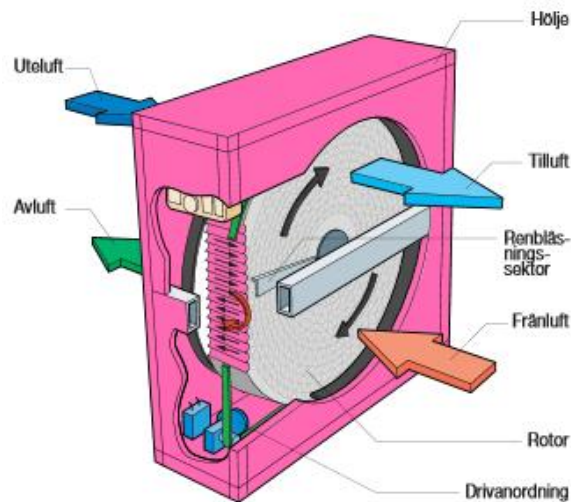
- Roterande värmeväxlare
- Vätskekopplade batterier
- Plattvärmeväxlare

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 21 of 115   |  |

I roterande värmeväxlare värmer den varma frånluften upp ett roterande hjul som sedan avger värme till den kalla tilluften [23]. Graden av värmeåtervinning kan regleras med hjälp av ökning eller minskning av rotationshastigheten [23]. Se principskiss av en roterande värmeväxlare i Figur 7. Roterande värmeväxlare karakteriseras av låga tryckfall vilket ger ett lågt fläkteffektbehov och således låg elenergianvändning i fläktdriften [23]. Frysrisken i denna värmeväxlare är också liten [5]. Verkningsgraden ligger på ca 80-85 % [23].



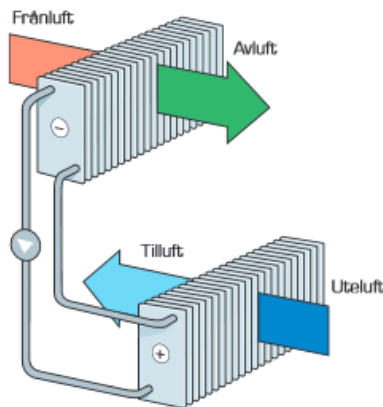
Figur 7: Principskiss av roterande värmeväxlare[16].

Vätskekopplade batterier är ett vätskekopplat system som innebär att en frysskyddad vätskelösning (vatten eller vatten med glykol) cirkuleras mellan kyl- och värmebatterier, placerade i från- respektive tilluftssystemet [23]. Se principskiss av vätskekopplade batterier i Figur 8

Figur 8: Principskiss vätskekopplade batterier.

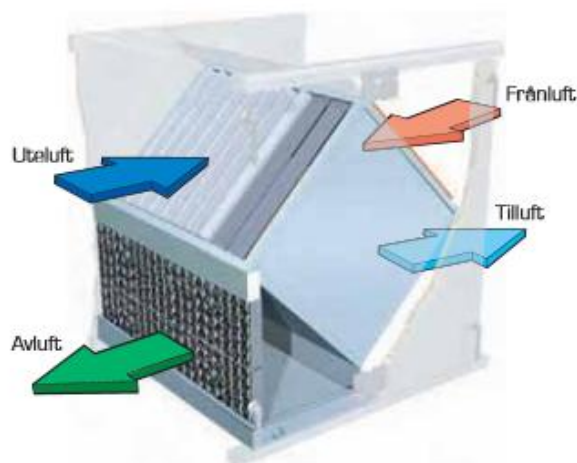
|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 22 of 115   |  |

. Den varma frånluften värmer vätskan som i sin tur avger värme i tilluftskanalen [23]. Värmeåtervinningen regleras med hjälp av ökning eller minskning av vätskeflödet [23]. Aggregaten för till- respektive frånluft kan placeras oberoende av varandra och flera återvinningsstationer i olika frånluftssystem kan kopplas till ett tilluftsbatteri, vilket gör det till ett flexibelt system [23]. Värmeväxlaren har en lägre verkningsgrad än den roterande värmeväxlaren, på ca 50-60 % [23]. Denna typ av värmeåtervinning är vanlig i flerbostadshus [23].



Figur 8: Principskiss vätskekopplade batterier[16].

Plattvärmeväxlare kallas även korsströmsvärmeväxlare eller motströmsvärmeväxlare[23]. Denna typ är den vanligaste på marknaden och används i bland annat flerbostadshus där det finns separata ventilationsanläggningar i respektive lägenhet[23]. Se en principskiss av en plattvärmeväxlare i Figur 9. Tekniken går ut på att till- och frånluften passerar varandra i ett lamellpaket av veckade aluminiumplåtar[23]. Den varma frånluften värmer aluminiumplåten som den kalla tilluften sedan upptar värme ifrån[23]. Kondens kan bildas i denna typ av värmeväxlare och därför krävs ett kondensavlopp[5]. Att kondens bildas innebär också att risken för frysning är stor och därför är det aktuellt att ha något slags avfrostningssystem installerat[5]. Verkningsgraden för en plattvärmeväxlare är 60-70 % [23].



Figur 9: Principskiss plattvärmeväxlare[16].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 23 of 115   |  |

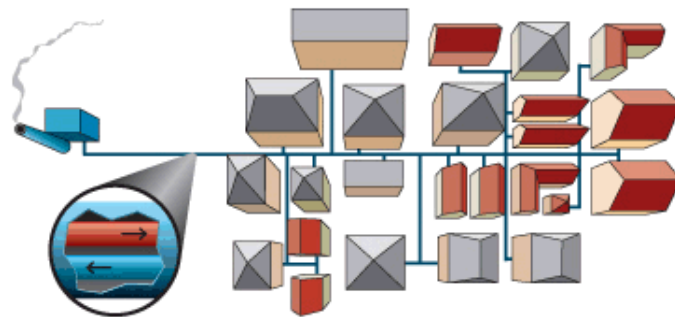
Ventilationssystem körs med konstantflödessystem, CAV, eller varierande flöde, VAV. I CAV-systemet hålls flödet konstant medan temperaturen varierar. CAV är det vanligaste distributionssystemet i Sverige. Temperaturen på tilluften styrs utifrån temperaturen i rummet alternativt efter utomhustemperaturen eller efter båda [24, p. 17]. Ventilation med varierat luftflöde, VAV, varierar luftflödet medan temperaturen hålls konstant. Det vanliga är att en årstidsstyrning av tilluftstemperaturen som en funktion av utomhustemperaturen görs. Regleringen till varje rum sker med hjälp av spjäll, medan centrala till- och frånluftsfläktar regleras med hjälp av ledskenereglering eller varvtalsstyrda fläktmotorer. [24, p. 18]. Behovsstyrd ventilation, DCV, är också något som används för att styra ventilationen idag. Målet med ett behovsstyrt ventilationssystem är att skapa hög luftkvalitet med så lite ventilation som möjligt och därmed spara energi[25]. Styrningen av luftflödet går att göra utifrån exempelvis koldioxidhalt i rummen[25].

### 3.3. Uppvärmningssystem

Det finns olika typer av uppvärmningssystem för byggnader. De vanligaste systemen som använts under de senaste 100 åren (Se Road map i Bilaga 1) kommer här att beskrivas. I flerbostadshus och lokaler är fjärrvärme det vanligaste systemet idag.

#### Fjärrvärme

Fjärrvärme innebär att värme produceras i ett centralt värmeverk eller kraftvärmeanläggning (verk för produktion av både värme och el) [26]. Värmen distribueras till husen via ett kulvertnät, ett nätverk av nedgrävda ledningar med varmt vatten [26], se Figur 10 nedan. Nätverket är gemensamt för hela eller delar av städer [26]. Sommartid är framledningstemperaturen 70-80 °C och vintertid ca 100-110 °C [24, p. 31]. I huset behövs en fjärrvärmecentral för att kunna ta emot värmen [26]. I denna central finns bland annat två värmeväxlare, en för tappvarmvatten och en för uppvärmning [26].



Figur 10: Grov modell av fjärrvärmesystemets distributionsnät. [26]

#### Förbrännings- och elpanna

Elpannor eller förbränningspannor kan användas till uppvärmning av vatten i vattenburna distributionssystem eller till cirkulerande luft i luftburna system och är därför flexibla lösningar för uppvärmning[24]. I det vattenburna systemet används en elpanna eller elpatron för att värma upp vatten i en behållare [27]. Det varma vattnet pumpas sedan ut i ett rörsystem med radiatorer eller i slingor i golvet och distribueras på så sätt i byggnaden [27]. Distributionssystemet vid användning av radiatorer kan vara kopplade på olika sätt och radiatorernas storlek kan variera.



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 24 of 115   |  |

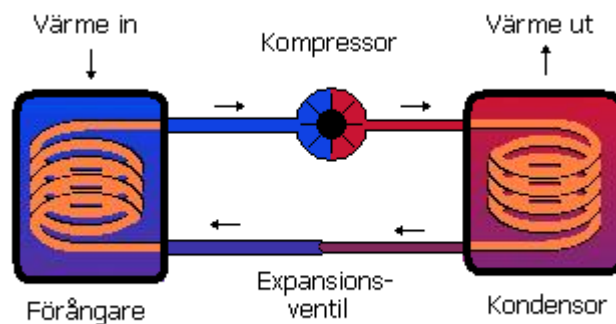
Uppvärmning med olja är bekvämt men dyrt och ohållbart. Enligt Energi och klimatrådgivningen har det skett stora prisuppgångar på olja[28]. År 1967 kostade oljan 220 kr/m<sup>3</sup>, vilket då var billigt[28]. Idag är priset ca 14000 kr/m<sup>3</sup> (mars 2013) vilket gör oljan till det i särklass dyraste uppvärmningsalternativet[28].

### Direktverkande el

Direktverkande el innebär att el omvandlas till värme i radiatorer. Det finns två typer av radiatorer; oljefyllda och icke oljefyllda [27]. Oljan i radiatorn fungerar som ett värmelager och gör att temperaturen i radiatorn blir mer jämn, jämfört med de icke oljefyllda elementen som har en mer pendlande temperatur [27]. Det finns krav för byggnader med direktverkande elvärme se boverkets byggregler BBR 2012.

### Värmepump

I en värmepump används mekaniskt arbete för att förflytta värme från en lägre temperatur till en högre. En schematisk bild av en värmepump i Figur 11.



Figur 11: Schematisk bild av värmepump[29].

I värmepumpen cirkulerar ett köldmedium[2]. Värme upptas i förångaren och vätskan övergår i ånga[2]. Ångan sugas in i den eldrivna kompressorn som ökar trycket och temperaturen på ångan genom komprimering[2]. Den varma ångan övergår i vätskeform i kondensorn varvid energi avges, exempelvis till husets värmesystem[2]. Trycket och temperaturen sjunker sedan när vätskan passerar expansionsventilen (strypventil som sänker trycket)[2]. Temperaturen vid förångaren bestäms av det medium som används som värmekälla. Det kan vara borrhål, ytjord eller sjö-/havsvatten och källan anger typen på värmepump som kan vara exempelvis luft/luft-, bergvärme- eller luftvatten-värmepump. Temperaturen vid kondensorn bestäms av temperaturen på framlednings-/varmvattentemperatur. Värmepumpen omvandlar el till värme i arbetsprocessen. En värmepumps effektivitet kan beskrivas med hjälp av COP-faktorn. COP står för Coefficient Of Performance och beskriver hur mycket värmeenergi som kan produceras per tillförd elenergi alltså elen som går åt för att driva den. Ett COP-värde på 3 motsvarar således att 1 kWh el ger 3 kWh värmeenergi [24, p. 31]. Värmeeffekten som kan utvinnas ur värmepumpen uttryck med hjälp av ekvation (18).

$$\text{COP} = \frac{\text{avgiven effekt}}{\text{tillförd effekt}} \quad (18)$$

### Solvärme

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

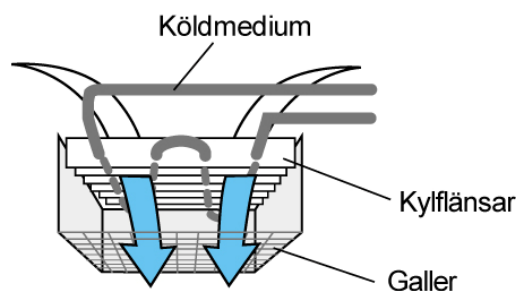


|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 25 of 115   |  |

Solvärme kan användas för att värma upp tappvarmvatten eller som extra uppvärmning i hus. Den typiska användningen av solvärme är som komplement till annan värmekälla för att täcka hela årets energibehov. För att kunna använda solvärme behövs ett vattenburet värmesystem.

### 3.4. Komfortkyla

Kylning av lokaler kan ske på flera olika sätt och kylan kan distribueras antingen med hjälp av luftburna system eller med hjälp av vattenburna system. Luftburna kylsystem är vanligast i äldre och mindre lokaler medan det vattenburna systemet är mer förekommande i nyare och större lokaler [24, p. 35]. Kylbaffelsystemet är det vanligaste sättet att kyla och är ett vattenburet system [24, p. 36]. Vid användning av kylbafflar överförs värmen i rumsluften till kylvattnet genom fri konvektion via vattenkylda kylbafflar som placeras i taket [24, p. 37]. Se en principskiss över kylbaffelns funktion i Figur 12 nedan. Kylbaffelns placering beror på att den varma luften stiger och den kalla kylda luften sjunker mot golvet [24, p. 37]. Vanligtvis dimensioneras kylbafflarna med en framledningstemperatur på 14 °C och en returledningstemperatur på 17 eller 18 °C [24, p. 37]. En högre framledningstemperatur kan också sättas, vilket kan påverka energiprestandan positivt på grund av att det leder till en lägre drivenergi till kylmaskinens kompressor [24, p. 37].



Figur 12: Principskiss för en kylbaffel.[24]

Andra sätt att kyla med vattenburet system är med hjälp av kylpaneler, fläktkonvektorer och induktionsapparater [24]. Kyla kan också produceras med hjälp av värmepump, absorptionskylmaskin, kompressionskylmaskin, med evaporativ eller sorptiv kylning eller med hjälp av frikyla eller fjärrkyla.

### 3.5. Belysning

Det finns ett flertal olika ljuskällor och länge har glödlampan och T8-lysröret varit vanligast. Med teknikens utveckling har nyare och mer energieffektiva alternativ tagits fram och ersatt glödlampan och T8-lysröret. Glödlampan håller på att fasas ut och ersättare till denna är bland annat lågenergilampan. Nedan i Figur 13 som är hämtad från Vattenfalls hemsida visas glödlampans effekt i watt samt de alternativa ljuskällorna halogenlampan, lågenergilampan och LED-lampans motsvarande ljusflöden i lumen.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 26 of 115   |  |

|      |  Glödlampor |  Halogen |  Lågenergi |  LED |
|------|--|---|---|--|
| 15W  | 119 lm   | 125 lm  | 136 lm  |  |
| 25W  | 217 lm   | 229 lm  | 249 lm  |  |
| 40W  | 410 lm   | 432 lm  | 470 lm  |  |
| 60W  | 702 lm   | 741 lm  | 806 lm  |  |
| 75W  | 920 lm   | 970 lm  | 1055 lm   |  |
| 100W | 1326 lm  | 1398 lm   | 1521 lm   |  |
| 150W | 2137 lm  | 2253 lm   | 2452 lm   |  |
| 200W | 3009 lm  | 3172 lm   | 3452 lm   |  |

Figur 13: Glödlampans effekt i watt och de motsvarande ljusflödena i lumen för alternativa ljuskällor[30].

Mer information om belysningskällor och deras egenskaper ges i kommande avsnitt om tekniken påverkan på energianvändningen och belysning på sida 40. Ljusflöde anges i lumen, (lm) och ljusutbyte anges i lumen per watt, (lm/W). Med ljusflöde betecknas den totala strålning i alla riktningar, som utgår från en ljuskälla. Ljusutbytet är ett mått på ljuskällans effektivitet, det vill säga hur effektivt ljuskällan omvandlar energi till ljus. Det är detta som påverkar elförbrukningen och därmed elkostnaden. Livslängd anges som brinntid i timmar och varierar mellan olika lampor. De lampor som är tända konstant håller kortare tid än de som sällan används [31]. När det gäller lågenergilampor påverkas livslängden av hur ofta de tänds och släcks[31]. Det finns nämligen lågenergilampor som tål fler tändningar/släckningar och som därmed är särskilt lämpat vid sådant frekvent bruk[31]. Vad gäller lysrör finns det två typer av lysrörsarmaturer[32]:

- Den konventionella typen (magnetiska don)[32]. Lysröret har driftdon, kondensator och glimtändare[32]. Detta lysrör blinkar till innan röret tänds helt, och det erhållna ljuset kan upplevas som flimrande[32]. Dessa är vanligast idag, men används sällan vid nyinstallation[32].
- Den med HF-don (högfrekvensdon eller s.k. elektroniskt don)[32]. Lysröret tänds och drivs med HF-don[32]. Fullt ljus erhålls omedelbart utan blinkning och ljuset är flimmerfritt. Lysrör med HF-don finns i dimbara modeller[32]. HF-donen kan ha en livslängd på ca 20 000 timmar, då 80 % av ljuset återstår[32].

Äldre anläggningar har vanligtvis T8-lysror (diametern är en tum = 25,4 mm) eller T26 (diameter: 26 mm)[33]. Dessa kan drivas med både konventionella don och HF-don[33]. T5- (5/8 tum i diameter) samt T16-lysroren (16 mm i diameter) är den nyaste typen av lysror[33]. Dessa är smalare än T8-rören vilket gör att de smalare rören inte direkt kan ersätta T8-rören utan att byta ut armaturen[33]. De nya rören finns också med olika färgåtergivande egenskaper samt i cirkulär form. T5-lysroren finns i två utföranden [32]:

- ”T5 High Efficiency” med effekter mellan 14-35 W
- ”High output”, med effekter mellan 24-80 W

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 27 of 115   |  |

”T5 High Efficiency” lysröret har högst ljusutbyte i lumen per watt[32]. ”High Output” har högre effekter men ger ca 60 % mer ljus än High Efficiency lysrör med samma effekt [32]. T5- lysrör passar inte i armaturer avsedda för T8-rör eftersom de har HF-don. Ett cirkelformat lysrör visas i Figur 14 nedan. I regel har cirkelformade lysrör kortare livslängd än raka lysrör.



Figur 14: Cirkelformat lysrör. [34]

### 3.6. Byggnadskonstruktion och material

Värmegenomgångstalet  $U$  är beroende av dels tjockleken på ett material samt av värmeledningstalet  $\lambda$  för materialet. Värmeledningstalet är beroende på hur materialet är uppbyggt samt talar om hur bra det leder värme. Ju mindre tal desto mindre värme leds genom materialet. För att beräkna  $U$ -värde behövs tjockleken på materialskiktet. Värmegenomgångstalet för ett material minskar för tjockare skikt och för ett lågt värmeledningstal.

En köldbrygga är en enskild konstruktionsdel där material med dålig värmeisolering bryter genom ett material med bättre isolering[18]. Detta kan vara anslutningar mellan exempelvis vägg och takdel eller vid fönster och ytterdörrar mellan karmar och yttervägg[18]. Se Figur 15 där en termografering gjorts av ett fönster. Temperaturen syns tydligt mellan fönster och vägg. Köldbryggan gör att temperaturskillnaden känns tydligt på grund av så kallad strålningsdrag[35]. På grund av upplevd kyla används ofta mer värme vilket ökar energikostnader, förutom att den sämre isolerade byggnadsdelen i sig ger en ökad värmetransport.



Figur 15: Termografering av ett fönster - köldbrygga[36].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 28 of 115   |  |

### 3.7. Hissar

Det finns olika typer av hissar där linhissar och hydraulhissar är de vanligaste[37]. Linhissens konstruktion transporterar hisskorgen uppåt eller nedåt med hjälp av ställinor[37]. Hydraulhissen har en eller ett flertal hydraulcylindrar som förflyttar hisskorgen[37]. Cylindern kan vidare vara kopplad direkt till hisskorgen eller vara kopplad via linor eller kedjor[37].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 29 of 115   |  |

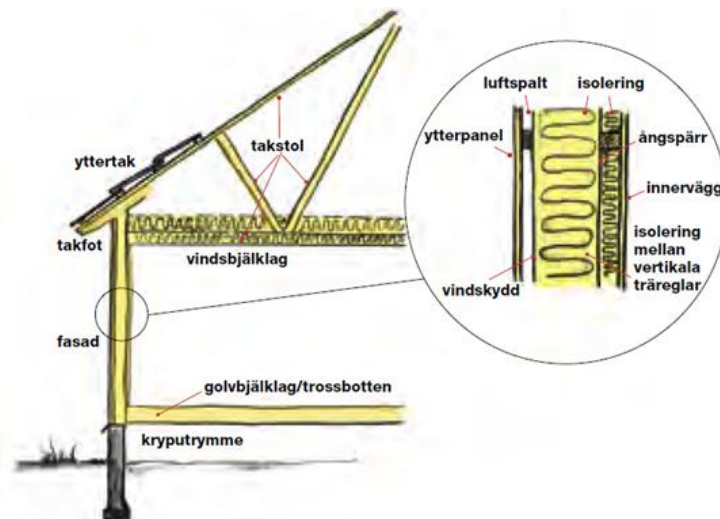
## 4. Road map

En road map (tidsaxel) över hur byggnaders fastighetsteknik har utvecklats de senaste 100 åren har tagits fram och återfinns i Bilaga 1. Den är utformad efter vilka system som var vanligast under en tidsperiod med avseende på ventilations- och värmesystem, belysning samt byggnadskonstruktion. Förekomsten av hissar specificeras också.

**Från 1900-talets början till år 1910** är ventilation och värmesystemet samverkande. Under 1910-talet fanns inte centralvärme, vilket innebär att produktionen av värme på den tiden skedde lokalt i varje rum[38]. Distributionen gjordes via vedeldning och kakelugnsystemets kanaler och med hjälp av luftrörelser[38]. På så sätt hålls murstocken varm vilket är viktigt för självdragsventilationen, som var vanligast i bostäder under den här epoken. Självdragssystemet var på den här tiden fram till 1920-talet konstruerade utan kanaler speciellt anpassade för ventilation[38]. Istället ventilerades byggnaderna genom otätheter i byggnadskonstruktionen. I lokaler är det vanligt med ett så kallat kalorifersystem[38]. Systemet innebär att uteluften leds in i en varmkammare i husets källare[38]. Den uppvärmda luften går vidare genom separata kanaler till respektive rum. Belysningen under den här tiden utgörs av gas- eller fotogenlampor. Huskonstruktionen under tidsepoken är enkel och robust. Ett exempel är den homogena tegelväggen av 1 1/2 – stenstegel utan värmeisolering[18]. Husen på den här tiden är ofta byggda av trä. Taken är oftast av plåt och har viss isolering i form av koksaska mellan brädgolv[39]. Innertaket är ofta av putsad panel [39]. Fönstren är englasfönster, med ett extraglas monterat vintertid, vilket är den vanligaste fönsterkonstruktionen fram till 1930-talet[40].

**På 1920-talet** installeras badrum i både nybyggda hus och i omoderna bostäder[38]. Genom detta blir det under denna tidsepok vanligt med ”Stockholmsventilationen” som innebär att tilluft tas in närmast marken och stiger via ett kanalsystem uppåt i rummet[38]. I badrummen tas frånluften ut via självdrag genom ventil vid taket[38]. Från ventilen i badrummet mynnar frånluften ut i skorstenen[38]. De övriga rummen i huset har egna frånluftskanaler och tilluftsventiler[38]. Även i lokaler tas frånluften ut med hjälp av termiska stigkrafter i tegelkanaler[38]. Tilluften tas in via klaffventiler i yttervägg och otätheter i fönster och dörrar[38]. Vid den här tiden kom också centralvärmen med vattenburet radiatorsystem[38]. Dock var endast 5 % av bostäderna i Sverige anslutna till centralvärmen[41]. Vedpannan är den vanligaste uppvärmningskällan under den här tiden[41]. År 1924 har 80 % av de svenska bostäderna elektriskt ljus där glödlampan är den befintliga belysningen[41]. Huskonstruktionen är likartad som den under 1910-talet. Dock har takkonstruktionen utvecklats då tegel börjar användas även på taken i form av tegelpannor[39]. Takstolen är numera uppbyggd av träpanel, tjärad papp, ströläkt och bärläkt[39]. Se huskonstruktion i genomskärning i Figur 16. Ströläkt och bärläkt är sågat virke som används som underlag vid takläggning, på lodrät- respektive vågrät ledd. Ströläkten används för att säkerställa ventilation mellan underlaget och takpannorna och bärläkten används för att bära och fästa pannor. Vindsbjälklaget är uppbyggt av brädgolv med sågspån emellan[39]. I husen som byggs under den här epoken, börjar betong användas[39]. 100 mm betongplatta används som vindsbjälklag[39]. Innertaken är ofta gjorda av papp eller puts [39].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 30 of 115   |  |



Figur 16: Beteckningar för olika delar i ett hus [42].

På 1930-talet är det vanligast att lokaler har separata till- och frånluftskanaler[38]. I bostäderna har frånluftsfläktar installerats för att transportera bort dålig luft från kök och toalett med hjälp av dåvarande lågtryckssystem[38]. Tillsammans med självdrag är frånluftsventilationen med fläkt dominerande ända fram till 1960-talet[38]. Frånluftsventilation är populär än idag på 2000-talet. Ved-, kol- och kokspannan är tillsammans med centralvärmens de vanligaste uppvärmningssystemen under denna tidsepok[41]. Huskonstruktionen börjar ändras i denna tidsperiod. Stommen är oftast tegel med ut- och invändig puts, utan isolering[18][43]. En vanlig takkonstruktion är sadeltak av tegelpannor eller plåt[39]. Takstolarna består av träpanel, tjärad papp, ströläkt och bärläkt och sågspån används som fyllning[39]. Höga hus har fortfarande vindsbjälklag av tegel eller betong[39]. Spännvidderna ökar under den här epoken[39]. Detta innebär att träbalkar inte är tillräckliga och att stålbalkar börjar användas i vindsbjälklaget[39]. Stålbalkarna gjorde också att ljudisoleringen blev bättre men även brandsäkerheten och skyddet mot ohyra förbättrades[43]. Vindsbjälklaget var i övrigt uppbyggt av betong/tegel och isolering var granulerad masugnsslagg eller krossad betong[39]. Innertaket är gjort av papp eller puts [39]. Kopplade 2-glasfönster blir nu vanligt[41]. Att fönstren är kopplade innebär att inner- och ytterbåge är hopkopplade till en enhet. Se fönsterkonstruktion i Figur 17.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 31 of 115   |  |



Figur 17:Fönsterkonstruktion[44].

**På 1940-talet** var samma ventilationssystem aktuellt som på 1930-talet. Det blev dock möjligt att använda ett högre tryck i systemet och få en tystare drift tack vare att radialfläkten uppfanns[38]. Att högre tryckfall är möjligt innebär också att kanalsystemen kan göras enklare och att det går att injustera luftflödet med högre noggrannhet [38]. Under denna tidsepok är vedpannan en vanlig uppvärmningskälla och centralsystemet är utbrett. Numera har 45 % av bostäderna centralvärme[41]. Lysröret (T8/T12) slår igenom under detta årtionde i Sverige och det blir en vanlig belysning i såväl bostäder som lokaler. Huskonstruktionen blir under denna tidsepok tätare. Det börjar byggas med tegel och högporöst tegel eller med lättbetong[18]. Stommen är ofta lätt tegel eller platsgjuten betong och som isolering används träullsskivor som putsas[40]. Det är vanligt med 1- stens tegelmur med 5 cm träullsplatta[40]. Punkthusen är en typ av hus som är vanlig under den här tiden[43]. Dessa har en bärande murpelare av 1,5 stenstegel och hårdbränt murtegel på utsidan[43]. Insidan bestod ofta av enklare murtegel och på insidan isolerades med träullsskiva och puts[43]. Taken byggdes likartat som på 30-talet. På 1940-talet blir det krav på att hissar ska finnas i hus med 4 eller fler våningar, vilket gäller ända fram till 1970-talet.

**På 1950-talet** och efter andra världskriget, var det god tillgång på billig olja vilket gjorde att olje- och fotogenpannan blir en vanlig uppvärmningskälla i bostäderna[41]. Centralvärmen fortsätter att breda ut sig. Tornkranen och bygghissens inträde under 1950-talet medför många nya möjligheter[43]. Det kräver både mindre arbetsinsatser och byggandet kan effektiviseras[43]. Huskonstruktionen förändras, och lättbetongen gör sitt inträde som byggnadsmaterial [43]. Tillsammans med tegel är betongen ett vanligt stommaterial och det isoleras fortfarande med träullsskivor[43]. Mineralullen introduceras under detta årtionde[39]. Gipsskivan börjar också användas i både vägg- och i takkonstruktion[39]. Hus byggs också med olika fasad beroende på våning[43]. Bottenvåningen i lägre hus byggs ofta med 30 cm lättbetongblock[43]. Dessutom kunde våning 1-6 vara av 15 cm platsgjuten betong med utanpåliggande 12,5 cm isolering av lättbetongblock[43]. Våning 7 och uppåt kunde sedan byggas med 25 cm lättbetongblock och vinden med tunnare 20 cm betongelement[43]. Utvändigt lades ofta terrakottaputs och invändigt användes kalkbruk[43]. Taken byggdes plana i denna tidsepok[39]. De var ofta uppbyggda av 160 mm betong och

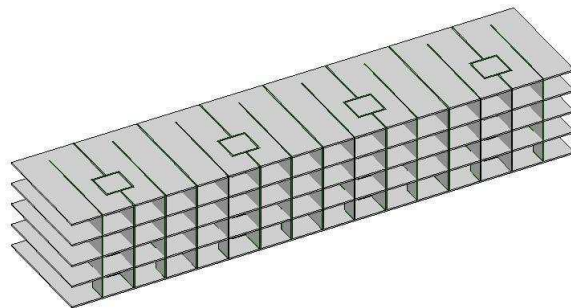
#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 32 of 115   |  |

isolerade med 130 mm koksaska eller granulerat masugnsslagg samt ett övergolv (ickebärande slitskikt) av 50 mm betong[39]. Takstolen består av träpanel, råspont (bräda av trä med en sida slätare än den andra samt med not och fjäder på kortsida för att kunna fästa brädor i varandra [45]), strö- och bärläkt samt tegel[39]. Det börjar isoleras mer i allmänhet och träullsskivor börjar användas i vindsbjälklaget [39]. 2-glasfönstrena är fortfarande vanligast men 3-glas kom i början av 1950-talet[40].

**Från 1960-talet** blir det mycket vanligt att tillämpa tilluftssystem i kontor, skolor etc.[38]. Till- och frånluftssystem börjar användas vid den här tiden, där tilluften värms och filtreras i ett aggregat för att sedan via en fläkt ledas vidare till olika rum[38]. Tillgången på olja är fortfarande god och centralvärmen är ett utbrett värmesystem och 75 % av bostäderna har vid den här tiden centralvärme[41]. Direktverkande el och elradiatorer blir också vanligt för uppvärmning under den här tiden[41]. Halogenlampan uppträffas under denna tidsepok, men glödlampan och lysrören är fortfarande vanligast. Under den här tiden blev det också vanligt med prefabricerade betongelement i och med miljonprogrammet[43]. Den diffusionstäta plastfolien introducerades också under årtiondet och mineralull användes som isolering[43]. Det så kallade ”bokhyllsystemet” blev en vanlig stomkonstruktion, se Figur 18[43]. Systemet byggs med tvärgående väggar och gavlar av platsgjuten betong som är bärande, samt icke bärande fasader[43]. Tjockleken på betongväggarna som är lägenhetsavskiljande är 180 mm och övriga är 120 mm[46]. Väggarna har inte någon armering. Fackväggarna är uppbyggda av isolerande regelstomme försedda med 13 mm gipsskiva invändigt[46].

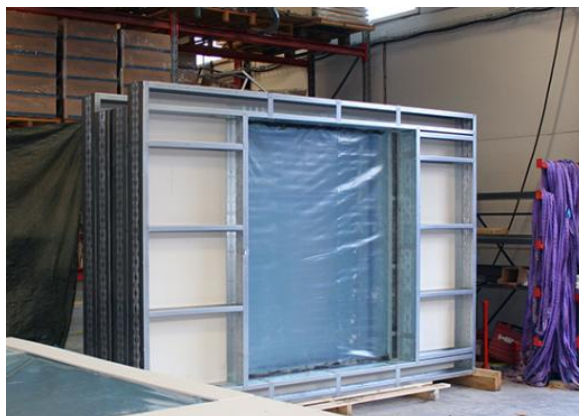


Figur 18: 3D bild av ”bokhyllsystemet”, stomkonstruktion.[46]

De prefabricerade elementen var ofta uppbyggda med betongstomme och utfackningsväggar med trästomme, se Figur 19. Utfackningsväggen med trästomme är den vanligaste typen av yttervägg i flerbostadshus[47]. Utfackningsvägg är den del av vägg som utgör väggen som ”fyller” utrymmet i betongramen som skapas när man bygger med betongstommar.



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 33 of 115   |  |



Figur 19: Ett exempel på en utfackningsvägg grunduppbyggnad [48].

En vanlig hustyp är skivhusen med ytterväggar i 15 cm putsad lättbetong som på insidan motgöts med 15 cm betong[43]. En vanlig fasadbeklädnad är puts, tegel, betong eller vit kalksten[43]. Med tegel är konstruktionen  $\frac{1}{2}$  -stenstegel (en halv tegelstens längd, ca 16,5 cm), en luftspalt samt eternitskiva med regler med mineralull samt plastfolie och gipsskiva[43]. En vanlig yttervägg är också sandwichelement, det vill säga två betongskivor med mellanliggande isolering[49]. Taken görs fortfarande ofta plana eller lågt lutande med papp som ytskikt[39]. Takstolen görs med takstol eller överramar samt 23 mm råspont och två lager papp[39]. Vindsbjälklaget byggs med betongelement som isoleras med 150 mm isolering [39]. Grundstommen på husen gjordes av konstruktionen ”platta på mark” med värmeisolering *ovan* betongplattan under denna tidsepok[18]. Detta visade sig sedan ge upphov till fuktskador[18].

**Under 1970-talet** började komfortkyla användas i lokaler då bortförsel av värme var nödvändig för att uppfylla kraven för inomhusklimat[38]. I bostäder infördes till- och frånluftssystem med värmeåtervinning[38]. Som uppvärmningskälla användes el- eller oljepanna [41]. Nya värmesystem som slog igenom var fjärrvärme (1973) och värmepump[50]. Nu blir det också krav på att installera hissar i hus med tre eller fler våningar. Byggnadssättet var liknande som 50- och 60- talet i och med miljonprogrammet. Byggnadssättet var också till stor del elementbyggande och sandwichelement i fasad samt tunga bjälklag- och mellanväggselement[43]. Ytterväggen skulle också ha plastfolie invändigt[43]. Loftgångshus var en vanlig flerbostadstyp under 1970-talet[43]. Dessa har ofta dubbel isolering och en skalmur av tegel[43]. Bjälklagen är vanligen platsgjutna och husen hade bärande pelare av betong[43]. Även nu används olika vägguppbyggnad på botten- respektive ovanvåningar [43]. Bottenvåningen är oftast i armerat betong med träreglar, cellplast, plastfolie och gipsskiva invändigt. De högre våningsplanen har ofta utfackningsfasad med limmade träblock och  $\frac{1}{2}$  -stens fasadtegel[43]. Utfackningsfasad är ett lager av yttervägg som kan täcka en hel eller en del av en vägg på en byggnad[43]. Förtillverkade fasadelement med isolerade träregelstommar används[43]. Invändigt sätts eternitskiva, regler, mineralull och plastfolie samt gipsskivor[43]. Skarvar tätas med mineralull och tätningsband samt täckbräda[43]. Fasad av trä finns upp till 2- våningars höjd, däröver är det krav på icke brännbara material eller trä i mindre partier[43]. Sadeltak blev åter populärt och förtillverkade takelement i form av prefabricerade stålelement används [39]. Takstolen byggdes med träpanel, 245 mm mineralull och eventuell 25 mm luftspalt samt 6 mm träfiberskiva samt strö- och bärläkt [39]. Vindsbjälklaget började byggas med plastfolie på insidan och

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 34 of 115   |  |

innertaket utfördes med glespanel och gips [39]. Denna takkonstruktion kom att dominera ända fram till 2000-talet [39]. 2-glasfönster är fortfarande vanligast men 3-glasfönstrena, isolerglasen samt energiglas introduceras [41].

**På 1980-talet** installeras så kallade lågflödessystem med rumsplacerade fläktkonvektorer[38]. I bostäder börjar bostadsbolagen rekommendera frånluftssystem och till värmeåtervinning används ofta en värmepump[38]. Dominerande värmesystem är fortfarande fjärrvärme och el-/oljepanna samt direktverkande el[41]. Det börjar användas platsgjutna stommar parallellt med prefabricerade stommar[43]. Ytterväggen består ofta av högporösa betongblock eller tegelfasader men också natursten eller plåt[43]. Energisparkraven ökar åter igen och innebar då att isoleringen görs tjockare. Vindtäthetens betydelse började uppmärksammas, vilket gjorde att skarvtejpplastfolie började användas på insidan av gipsskivorna[43]. Utfackningsväggar blir också vanligt under detta årtionde[43]. Dessa har träregelstommar och utvändig isolering med tjockputs direkt på[43]. Takkonstruktionen såg likartad ut som på 70-talet. Nu börjar betongplattan i grunden isoleras *underifrån* efter att fuktskador upptäckts till följd av tidigare isolerteknik[18]. Nu blir också 3-glasfönstren en standard[43].

**På 1990-talet** kom kylbaffelsystemet i lokaler och en återgång gjordes till mer enkla system såsom självdrag med mekanisk frånluft. Värmeåtervinning med värmepump är fortfarande vanligt[38]. Även under detta årtionde är platsgjutet och prefabricerat aktuellt[43]. Tegelfasader är vanligt tillsammans med glas, stål eller plåtfasader[43]. Fortfarande är utfackningsväggar populärt och isoleringstjocklek och vindtäthet är fortfarande i fokus[43]. Nu blir det återigen tillåtet med trä som stommaterial[43]. En ytterväggskonstruktion som blev vanlig under 1990-talet var träregelbaserade utfackningsväggar med organisk tunnputs på cellplast[43]. Denna konstruktion har dock visat sig vara en grogrund för mögel då det innebär att träreglar stängs in mellan två täta skikt[43]. Nu blir det även vanligt med glasfasader på husen, inte minst på kontorsbyggnader, se Figur 20.



Figur 20: Glasfasad[51].

Taken byggs i allmänhet likartat som på 70- och 80-talet men det blir standard att ha 300 mm isolering i yttertak [39]. 19 mm råspont används, samt en viss typ av takstol, för att få plats med isoleringen [39]. Passivhusen slår igenom i detta årtionde, med 300 mm isolering i väggar och 500 mm isolering i tak.

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 35 of 115   |  |

**Under 2000-talet fram till idag** ser ventilationssystemen olika ut[38]. De system som används är allt från självdrag, frånluftssystem, till- och frånluftssystem samt till- och frånluftssystem med värmeåtervinning[38]. FVP-systemet, frånluftssystem med värmeåtervinning med värmepump är också något som används[38]. Hybridventilation är en lågtrycksventilation som utnyttjar självdrag i kombination med mekanisk ventilation[52]. Den utnyttjar naturlig drivkraft när det räcker till och vid behov slår fläktssystemet in. Behovsstyrningen kan göras utifrån exempelvis koldioxidhalt eller närvaro[52]. Värmeförsörjningen är oftast fjärrvärme. Men värmepumpar och bränslen så som pellets eller naturgas används också[39]. Reglering, exempelvis genom rumsspecifik temperatur, förprogrammerad temperatur för olika tider av dygnet eller självreglerande system används. Solvärme är också något som är på frammarsch och blir mer och mer tillämpligt och populärt.

Det finns ett brett utbud av belysning idag; Glödlampor, T5-lysrör, LED-lampor, halogenlampor och lågenergilampor. Glödlampor används fortfarande men håller på att fasas ut. Klara 60 W glödlampor förbjöds i september 2009, ett år senare förbjöds klara 40 och 25 W[53]. I september 2013 kommer skärpta krav på lågenergilampor och halogenlampor, vilket innebär att lampor med sämre prestanda rensas ut från marknaden[53]. År 2016 kommer även skärpta krav på halogenlampor [54]. Det kommer nya armaturer med högre verkningsgrad och ljuskällor med högre ljus-utbyte per tillförd eleffekt. Huskonstruktionerna har utvecklats till hustyper som man försöker implementera som egenförsörjande eller så energieffektiva som möjligt, till exempel passivhus och nollenergihus. En vanlig fasaduppbyggnad under 2000-talet är den slätputsade med träinslag[43]. Stora glasytor har också blivit populärt, och glasets användning för fasadbeklädnad har ökat. Även naturstensplattor samt tegel, träpanel och plåt används som fasadmateriell[43]. Isolermaterialen är många men mineralullen är fortfarande vanlig[43]. Även cellplast och skum tillsammans med plastfolie och gips är vanliga material som används i isoleringssyfte[43]. Plana tak har blivit populärt och görs oftast av papp [39]. Takstolar görs av fribärande fackverkstakstolar eller limträbalkar och isoleras med 200-500 mm lösull som fyller konstruktionen, 20 mm råspont och två lager papptak utvändigt [39]. Innertaket består vanligen av plastfolie, glespanel och gips [39]. Stommar av trä testas i andan av hållbarhetstänket [39]. Fönstren vid nybyggen fortsätter att vara 3-glasfönster och energifönster.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 36 of 115   |  |

## 5. Teknikens påverkan på energianvändning

Den road map som har gjorts visar hur utvecklingen sett ut i de olika byggnadssystemen som påverkar energianvändningen i en byggnad. I detta avsnitt analyseras de olika systemens påverkan på energianvändning med avseende på förutsättningar för olika ventilations- och värmesystem och förbrukning av energi. Olika uppvärmningsalternativ kommer även att diskuteras utifrån exergiaspekten. Olika typer av belysning kommer också att tas upp och jämföras utifrån energiförbrukning. Klimatskärmens material som använts från 1900-talets början fram till idag presenterats med värmeledningstal för att bedöma hur isoleringsförmågan har påverkats av materialval som gjorts. Även en bedömning över hur värmeförluster förändras med olika typer av fönster tas upp.

### 5.1. Ventilation

Ventilationssystemets påverkan på energianvändningen beror av anläggningens konstruktion samt de tekniska komponenterna. Komponenterna som påverkar energianvändningen är olika typer av värmeväxlare, fläktar, filter, don och ventiler samt kanalsystem. Viktiga funktioner för energieffektivisering är exempelvis värmeåtervinning och behovsstyrda flöden, vilka både minskar energianvändningen och driftkostnaderna för ventilationssystemet. Fläktar, fläktmotorer och värmeväxlare kommer att beskrivas med verkningsgrad för att få en bild av komponenternas effektivitet och påverkan på energianvändningen.

Hur ventilationssystemet drivs påverkar också energiförbrukningen, beroende på om ventilationen körs med konstant flöde eller om driften varierar efter behov. Med FT-systemets möjlighet att styra flödena efter behov går det att ha en balanserad ventilation. FT-systemet är ett mer elkrävande system eftersom minst två fläktar krävs; en för tilluft och en för frånluft. Dessutom krävs värme för att värma upp tilluften vilket är mycket energikrävande. Detta innebär ett högre elbehov jämfört med ventilation med S- eller F-system. I FTX-systemet ventileras huset på samma sätt som i FT-system men en värmeväxlare överför frånluftens värme till den kalla tilluften [13]. I och med att värme återvinns leder det till en minskad energianvändning för uppvärmning av tilluften. Energianvändningen för att värma tilluft med ett FTX-system är därför lägre i jämförelse med ett FT-system. Energibesparingen med värmeåtervinning kan bli 50-80 % i jämförelse med om värmen inte återvinns. Verkningsgraden beror på om värmeåtervinningen beror på vilken typ av värmeväxlare som används.

Förutsättningar för olika typer av ventilationssystem ges nedan i Tabell 3. Olika system fungerar optimalt endast under olika förutsättningar. Ett FTX-system kräver exempelvis en tät klimatskärm för att fungera bra och för att leda till en optimal energibesparing.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 37 of 115   |  |

Tabell 3: Förutsättningar olika ventilationssystem.

| Ventilation       | Teknisk installation                                    | Förutsättningar   |
|-------------------|---|---|
| <b>S-system</b>   | Inga tekniska installationer                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frånluftskanal (skorsten)</li> <li>• "Otätheter" i klimatskärm</li> <li>• Termiska krafter</li> </ul>    |
| <b>F-system</b>   | Frånluftsfläktar, fläktmotor                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frånluftskanal</li> </ul>  |
| <b>FT-system</b>  | Från- och tilluftsfläktar, fläktmotor                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Från- och tilluftskanal</li> </ul>   |
| <b>FTX-system</b> | Från- och tilluftsfläktar, fläktmotorer, värmexchångler | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Från- och tilluftskanal</li> <li>• VVX</li> <li>• Tät klimatskärm</li> </ul>                             |
| <b>FVP-system</b> | Frånluftsfläkt och frånluftsvärmepump                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frånluftskanal</li> <li>• Styrd ventilation</li> <li>• Ett minsta flöde för att vara effektiv</li> </ul> |

Verkningsgraden mellan axialfläkten och radialfläkten skiljer sig inte avsevärt åt. Dock kan skovlarnas utformning för radialfläkten ha betydelse för verkningsgraden och därmed energianvändningen. Idag finns också axialfläktar med högre verkningsgrad. Fläktarna lämpar sig däremot för olika ändamål vilket visas i Tabell 4 där egenskaper för ventilationskomponenter sammanställs.

Skovlarnas utformning ger en högre verkningsgrad med B-hjulsfläktar, vilket innebär att det är det lönsammaste alternativet energimässigt sett eftersom besparingspotentialen ökar med högre verkningsgrad. Verkningsgraden är dock generell och driftsituationen kan ge ett annat förhållande. Ett visst tryck krävs i kanalsystemet för att åstadkomma ett visst luftflöde. Högre verkningsgrader för B-hjulsfläktar finns inom ett begränsat arbetsområde för att driften sker vid ett lägre flöde vid ett visst tryck än med fläktar med F-hjul[5]. För att kunna uppnå samma flöde som för en fläkt med F-hjul, och samtidigt behålla en hög verkningsgrad, måste därför en fläkt med B-hjul väljas i en storlek större[5]. Vidare har äldre frånluftssystem har oftast fläktar med framåtböjda skovlar installerade. Fläktföretaget *ebm-papst* skriver i sin broschyr om lågenergifläktar för ventilation, att SFP i de äldre anläggningarna ligger på 0,7-2 kW/(m<sup>3</sup>/s) [55]. Vid byte till fläktar med bakåtböjda skovlar fås ett lägre SFP på ca 0,3-0,6 kW/(m<sup>3</sup>/s) [55]. Besparingspotentialen vid kontinuerlig drift innebär ca 3 400- 11 700 kWh/år och m<sup>3</sup>/s [55].

Fläktmotorer drar elenergi och påverkar således energiförbrukningen. De tidiga frånluftssystemen drevs med växelströmsmotorer, AC-motorer, som är vanligast än idag. AC-motorer har en verkningsgrad på 70-90 %. Belastning och storlek på motorn påverkar verkningsgraden; ju större motor desto lägre värme- och friktionsförluster uppstår [22]. Fläktar med EC-motor är varvtalsreglerade och har högre verkningsgrad [56]. EC-motorns verkningsgrad innebär en effektivare och mer förlustfri drift vilket därmed leder till en lägre energianvändning.

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 38 of 115   |  |

Distribueringen av luft kan som tidigare nämnts ske med konstant eller varierat flöde. Fördelarna med att hålla ett konstant flöde, CAV, är att tryckfallet blir konstant, vilket gör att risken minskar för ett ojämnt flöde genom enheter [24, p. 17]. Detta innebär att kylflödet blir jämnare samt att risken för höga temperatursvängningar i enskilda enheter minskar [24, p. 17]. I ett konstantflödessystem används ofta en central fläkt som trycksätter systemet och med hjälp av spjäll placerade i kanalerna sker fördelningen till olika rum. Energiförbrukningen  $W_f$  för en fläkt kan uttryckas med ekvation (19) nedan:

$$W_f = \frac{\Delta P_t \cdot q \cdot t}{\eta_{fläkt}} \quad (19)$$

Där:

$t$  = drifttiden

Enligt ekvation (19) kan energiförbrukningen sänkas genom att antingen sänka flödet, minska tryckfallet, sänka drifttiden eller genom att välja en fläkt med högre verkningsgrad [24, p. 17]. Distributionen av luft kan göras på olika sätt. I Sverige används sällan luft för värmedistribution i byggnader, däremot används det ofta i lokaler för kylning. Distributionen kan göras behovsstyrd för att minimera energianvändningen vilket ofta är aktuellt i lokaler. Behovsstyrd ventilation, DCV-systemet, är en övergripande reglerstrategi och kräver ett varierande flödessystem, VAV-system [24, p. 19]. DCV-systemet är ett allmänt begrepp och kan användas för både reglering av flöde och temperatur [24, p. 19]. Flödet kan i sin tur styras utifrån luftkvalitet, antal människor, fuktighet eller andra faktorer [24, p. 19]. En sammanfattning över ventilationssystemets komponenter och dess egenskaper har gjorts enligt Tabell 4 [15].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 39 of 115   |  |

Tabell 4: Komponenter i ett mekaniskt ventilationssystem och dess egenskaper [15],[21].

| Komponent ventilationssystem            | Verkningsgrad  | Kommentar   |
|---|--|---|
| <b>Axialfläkt</b>                       | 75-85 %  | + Skapar stora luftflöden vid låga tryck<br>+ Hög verkningsgrad med ledskenor<br>– Kräver högt varvtal vid luftbehandling<br>– Högre effektbehov vid låga flöden  |
| <b>Radialfläkt, framåtböjda skovlar</b> | 60 %   | + Låg investeringskostnad<br>+ Stort luftflöde<br>+ Hög tryckuppsättning<br>– Låg verkningsgrad<br>– Hög ljudnivå   |
| <b>Radialfläkt, bakåtböjda skovlar</b>  | 80 %   | + Relativt hög verkningsgrad<br>+ Låga ljudnivåer<br>– Relativt hög investeringskostnad<br>– Tar stor plats   |
| <b>AC-motor</b>                         | 70-90 %  | + Vanligaste fläktmotorn<br>+ Växelströmsdriven<br>– Ger upphov värmeförluster  |
| <b>EC-motor</b>                         | Högre än AC-motorn   | + Mindre värmeförluster<br>– Likströmsdriven rotation   |
| <b>Roterande värmexlare</b>             | 80-85 %  | + Hög temperaturverkningsgrad<br>+ Små avfrostningsförluster<br>+ Relativt lågt tryckfall på 100 Pa<br>– Lukt, fukt och föroreningar kan överföras mellan till- och frånluft<br>– Ett och samma fläktrum för till- och frånluftskanaler<br>– Rörliga delar – risk för fel |
| <b>Vätskekopplade batterier</b>         | 50-60 %  | – Relativt högt tryckfall på 200 Pa<br>– Relativt låg temperaturverkningsgrad<br>– Pump drar el<br>– Frostskyddsmedel krävs<br>+ Inget läckage<br>+ Separata till- och frånluftsggregat kan användas<br>+ Återvunnen värme kan användas i valfritt system                 |
| <b>Plattvärmexlare</b>                  | 50-60 %<br>(korsströms modell) eller<br>90 %<br>(motströms modell) | + Minimal överföring av föroreningar<br>+ Inga rörliga delar<br>– Relativt högt tryckfall<br>– Relativt låg verkningsgrad<br>– Ett och samma fläktrum för till- och frånluftskanaler  |
| <b>Värmepump</b>                        | COP ≈ 3  | Verkningsgrad beror på värmeöverförande area & värmegenomgångstalet   |



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 40 of 115   |  |

## 5.2. Värmesystem

De värmesystem som varit aktuella de senaste århundradena är förbrännings- och elpannor, värmepumpar, fjärrvärme och direktverkande el. Idag används också mer och mer solvärme. Flera tekniska lösningar kan passa en typ av byggnad. I exempelvis hus med vattenburna distributionssystem är alternativen många. I nybyggnationer bör det i första hand väljas ett så hållbart alternativ som möjligt. Värmesystemet bör också väljas utefter konstruktion och täthet på byggnad, vilket påverkar dimensioneringen av värmesystemet [18, p. 96]. På så sätt görs dimensioneringen utifrån det faktiska värmebehovet [18, p. 96]. Med en tät och välisolerad klimatskärm blir effekt- och energibehovet lägre jämfört med en otät klimatskärm.

Olika typer av förbränningspannor kan med avseende på energiverkningsgrad jämföras sinsemellan. Då en jämförelse mellan de olika uppvärmningsalternativen ska göras är det dock mer än verkningsgraden i sig som avgör hur energieffektivt ett uppvärmningsalternativ är. Begreppet exergi används därför för att jämföra olika värmesystem med avseende på hur effektivt energin som produceras används för att skapa värme i byggnader. Vidare kräver olika värmesystem olika förutsättningar för att fungera optimalt vilket kommer att beskrivas i kapitel 5.2.3.

### 5.2.1. Pannverkningsgrad och energiinnehåll i bränslen

Olika typer av pannor har varit aktuella under århundradet för uppvärmningssyfte. Både kol och ved har använts som bränsle. Generellt sett har bränslepriset förändrats med tiden utefter vad som har varit billigt och tillgängligt. Idag är det dessutom fokus på klimatneutralitet vilket gör att biobränslen används mer och mer. Kombipanna tillämpas, vilket är en panna som kan eldas med olika typer av bränslen. Bränslenas energiinnehåll, även kallat värmevärde, anger hur mycket energi som potentiellt finns tillgängligt i bränslet. Tabell 5 presenterar värmevärdena för olika bränslen som är aktuella vid förbränning i panna.

Tabell 5: Värmevärden för olika bränslen.[57]

| Bränsle                                   | Värmevärde [GJ] | Värmevärde [kWh] |
|---|-----------------|------------------|
| Stenkol, (1 ton)                          | 27,2            | 7 560            |
| Koks, (1 ton)                             | 28,1            | 7 800            |
| Råolja, (1 m <sup>3</sup> )               | 36,3            | 10 070           |
| Eldningsolja Eo1, (1 m <sup>3</sup> )     | 35,8            | 9 950            |
| Dieselbrännolja Mk 1, (1 m <sup>3</sup> ) | 35,3            | 815              |
| Naturgas, (1000 m <sup>3</sup> )          | 39,8            | 11 048           |
| Trädbränslen 50 % fukthalt, (1 ton)       | 8,4             | 2 330            |
| Pellets/briketter 11 % fukthalt, (1 ton)  | 16,8            | 4 670            |

En gammal vedpanna som eldas med vanlig ved har en verkningsgrad mellan 40-70 % [58]. För att verkningsgraden ska nå över 50 % krävs eldning mot en ackumulatortank [58, p. 8]. Idag har en modern vedpanna en verkningsgrad på 80-90 % [58]. Denna ska då ha en keramikinsats för att förbränningstemperaturen ska bli tillräckligt hög samt en tillräckligt stor ackumulatortank [58, p. 8]. Storleken på ackumulatortanken beror på pannans kapacitet och byggnadens behov. Det är enklast att dimensionera ackumulatortanken efter eldstadens volym[59]. För att säkerställa pannans funktion bör en

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 41 of 115   |  |

ackumulatortank 18 gånger större än eldstadsvolymen användas, vilket också är ett krav för svanenmärkning [59].

En riktig gammal oljepanna med 50 % verkningsgrad innebär en kostnad på cirka 2,80 kr/kWh värme[28]. En modern panna med 90 % verkningsgrad ger istället ett pris på cirka 1,55 kr/kWh[28]. Oljepannan behöver sotas för att bibehålla sin verkningsgrad vilket kräver en arbetsinsats[28]. En nutida oljepanna utnyttjar och omvandlar ca 85-90 % av råvarans energi till brukbar värme [60]. Pannverkningsgraden hos en äldre panna kan vara lägre än 50 % [60].

Elpannor producerar värme genom att el omvandlas till värme i pannan och har en verkningsgrad på 100 % [18]. Vad gäller pellets, tillverkas detta från spån, bark och övrigt spill från sågverk och annan träindustri. Två ton pellets har samma energiinnehåll som 1 m<sup>3</sup> olja eller 8 000 kWh el [61]. Pelletspanna kan ha en verkningsgrad på 90 % [58].

Generellt sett har modernare installationer högre verkningsgrad. I och med detta är det mer lönsamt att byta ut gamla modeller av ved- och oljepannor mot nyare. Kostnaden för dessa system varierar också då oljepannan och direktverkande el kan anses som de dyrare systemen då priserna för dessa energikällor är höga i jämförelse med fjärrvärmeuppvärmning eller ved. Olika verkningsgrad för olika värmesystem redovisas i Tabell 6 för att ge en uppfattning om hur stort energiutbytet kan bli för respektive värmekälla. Förutom olika typer av pannor är elvärme (direktverkande el och elpanna) samt värmepump presenterat. Elvärme har en energiverkningsgrad på 100 % då 1 kWh el ger 1 kWh värme [18]. För att bedöma vilket uppvärmningsalternativ som är bäst vad gäller energianvändning beskrivs exergibegreppet och de olika alternativens påverkan på energianvändning utifrån detta synsätt.

Tabell 6: Värmesystem och verkningsgrader.

| Värmesystem  | Verkningsgrad/Utbyte            |
|--------------|---------------------------------|
| Vedpanna     | Äldre: 40-70 %, modern: 80-90 % |
| Oljepanna    | Äldre: 50 %, modern: 85-90 %    |
| Pelletspanna | 90 %                            |
| Elvärme      | 100 %                           |
| Värmepump    | COP ≈ 3                         |

### 5.2.2. Uppvärmningsalternativ och exergi

De olika värmesystemens verkningsgrad anger hur mycket energi som fås ut av det som tillförs, exempelvis blir all el till värme och har då 100 % verkningsgrad. Det är dock svårt att enbart med hjälp av energiverkningsgraden jämföra de olika uppvärmningsalternativen. Begreppet exergi kan dock hjälpa till att jämföra de olika uppvärmningsalternativen. Exergin anger kvaliteten (graden av ordning) på en viss typ av energi och förklarar hur stor potential en viss typ av energi har till att utföra arbete och omvandlas till andra energiformer[62]. Endast den ordnade delen av energin kan omvandlas till andra energiformer[62]. I Tabell 7 visas olika energiformers kvalitet. Maximal ordning har bland annat elektricitet och rörelse, medan värme (spillvärme och värmestrålning från jorden) har lägst exergi[62].

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 42 of 115   |  |

Tabell 7: Energiformers olika kvalitet[62].

|                  | Energiform                 | Exergi/energi [%] |
|------------------|----------------------------|-------------------|
| <b>Extra bra</b> | Lägesenergi <sup>1</sup>   | 100               |
|                  | Rörelseenergi <sup>2</sup> | 100               |
|                  | Elektrisk energi           | 100               |
|                  |                            |                   |
| <b>Bra</b>       | Kärnenergi <sup>3</sup>    | Ca 95             |
|                  | Solljus                    | 93                |
|                  | Kemisk energi <sup>4</sup> | Omkr. 100         |
|                  | Het ånga                   | Ca 60             |
|                  | Fjärrvärme                 | Ca 30             |
|                  |                            |                   |
| <b>Måttligt</b>  | Spillvärme vid ca 20 °C    | Ca 5              |
|                  |                            |                   |
| <b>Dåligt</b>    | Värmestrålning från jorden | 0                 |

<sup>1</sup> t.ex. högt belägna vattenreservoarer

<sup>2</sup> t.ex. vattenfall

<sup>3</sup> energi i kärnbränsle

<sup>4</sup> t.ex. olja (värdet varierar kring 100 % p.g.a. att energivärdet ofta inte relateras till omgivningens tillstånd)

El har en hög kvalitet på 100 % vilket betyder att stor potential finns för arbete. Värme däremot har en kvalitet på ca 5 % vilket innebär att värmen i sig har liten potential till arbete. Att då använda el för att producera värme innebär att det förloras en hel del exergi och kvalitet; ca 95 % då el omvandlas till värme. Andra alternativ såsom fjärrvärme innebär däremot att en mindre del exergi och kvalitet förloras, endast ca 25 %. Vid jämförelse av olika uppvärmningsalternativ kan således exergibegreppet användas för att bedöma hur hållbart och hur effektivt både högkvalitativ och lågkvalitativ energi används för att skapa värme.

### 5.2.3. Förutsättningar för värmesystem

Förutsättningar beror också av olika typer av faktorer som bör beaktas vid val av värmekälla. Förutsättningar för att välja ett visst uppvärmningsalternativ beror då av[18]:

- Läge
- Byggnadstyp
- Miljöhänsyn
- Ekonomi

Hur läget för byggnaden ser ut spelar roll för vilken metod för värmeförsörjning som är genomförbar. Huruvida byggnaden ligger i tätort eller i glesbygd påverkar värmesystemet utefter de miljöförutsättningar som finns. Exempelvis kan tillgången på biobränsle vara avgörande samt även tillgången på utbyggd fjärrvärme eller tillgången till berggrund för borrhål för värmekälla och så vidare. En förutsättning för fjärrvärme är exempelvis att husen ligger tätt. Byggnadstypen är också avgörande för val av uppvärmning.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 43 of 115   |  |

Om byggnaden är en bostad eller ett kontor, samt hur gammal byggnaden är spelar roll. En bostad har mer uppvärmningsbehov medan en kontorslokal dessutom behöver komfortkyla för att hålla ett bra rumsklimat. En anläggning för både kyla och värme behövs då och fjärrvärme och fjärrkyla kan då vara ett alternativ. Huruvida hänsyn till miljön bör tas är också en faktor som bör beaktas. Både energislag (värme, el) och bränsleslag (biobränsle eller fossilt) påverkar miljön på olika sätt. Ur miljösynpunkt är olja ett bränsle som bör undvikas. Alternativa bränslen till olja är biodiesel men också biobränslen som exempelvis pellets. Ekonomin är också avgörande för värmesystemens förutsättningar, då installationer kräver investeringar som kan kräva stora kapitalkostnader[18]. Energianvändningen i sig påverkar också driftkostnaderna[18]. Som exempel är olja bland det dyraste sättet att värma ett hus på. Dels är bränslet dyrt, dels kostar installation av oljepanna och sedan tillkommer kostnader för installation av ett vattenburet distributionssystem om det inte redan finns installerat [63]. Elvärme är också ett dyrt alternativ på grund av elpriset. Ett billigare alternativ kan vara exempelvis fjärrvärme. I Tabell 8 presenteras förutsättningar för olika typer av värmesystem för att få en uppfattning om vilket uppvärmningssystem som passar under vilka förutsättningar för att vara effektivt.

Tabell 8: Förutsättningar för olika värmesystem.

| Värmesystem                  | Förutsättningar  |
|------------------------------|--|
| <b>Panna</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vattenburet distributionssystem</li> <li>• Kräver underhåll</li> <li>• Passar bra i kombination med självdragsventilation</li> </ul>  |
| <b>Fjärrvärme</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kräver vattenburet distributionssystem</li> <li>• Kräver att fjärrvärme finns i området</li> <li>• Fjärrvärmecentral (tar liten plats)</li> </ul>   |
| <b>Bergvärmepump</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Borrning krävs</li> <li>• Används i kombination med el-/biobränslepanna eller elpatron för att täcka värmebehov</li> <li>• Vattenburet distributionssystem</li> <li>• Elberoende</li> </ul>                                     |
| <b>Luft/vatten värmepump</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Används i kombination med elpanna/elpatron för att täcka värmebehov</li> <li>• Funktion och lönsamhet beror av byggnadens individuella förutsättningar &amp; elpris</li> <li>• Låg framlednings- temperatur föredras</li> </ul> |
| <b>Direktverkande el</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativt dyrt</li> <li>• Enkel installation</li> <li>• Låg investeringskostnad</li> <li>• Kräver inget underhåll</li> </ul>   |

### 5.3. Belysning

I Tabell 9 presenteras effektbehov och livslängd för olika typer av belysning. En jämförelse utifrån LED lampan har gjorts, eftersom det är den mest energieffektiva lampan. I tabellen jämförs hur många timmars belysning 1 kWh energi räcker till för de olika lamporna. Lamporna har också jämförts utifrån hur många lampor som behövs för att motsvara en LED-lampas livslängd på 50 000 timmar. Detta ger således en





#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 44 of 115   |  |

uppfattning om att LED-lampan är det effektivaste alternativet, då den har längst livslängd och drar minst effekt. Övergången från glödlampa till andra energieffektiva alternativ är således något som vid samma användningsförhållanden leder till en lägre energianvändning.

Tabell 9: Livslängd, effekt och jämförelse av olika ljuskällor med avseende på energiförbrukning och antal.

|  | Glödlampa   | Halogen   | Lågenergi  | LED   |
|--|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Livslängd [64]<br>[timmar]                         | 1 000   | 2 000 [65]  | 6 000-15 000   | 50 000 [66]   |
| Effekt [65]<br>[Watt]                              | 40  | 28  | 7  | 4   |
| 1 kWh räcker till<br>[timmar]                      | 25  | 36  | 143  | 250   |
| Antal lampor för<br>50 000 timmar<br>(jmf med LED) | 50  | 25  | 5*   | 1   |

\*(för livslängd 10 500 timmar)

Lysrör har utvecklats för att bli mer energieffektiva. I Tabell 10 och Tabell 11 visas egenskaperna för det äldre T8-lysröret respektive för det moderna T5-lysröret [67]. För T5-rören ges egenskaper för typerna ”High Efficiency”, HE samt för ”High Output”, HO. Armaturen för T8- och T5- rör är olika och därför är de inte direkt utbytbara mot den andra typen utan armaturbyte. Om byte görs från T8- till T5-rör är det dock möjligt att välja ett T5-rör med samma ljusflöde men med en lägre effekt. Även LED-lysrör finns tillgängliga idag, detta innebär en möjlighet att spara energi då även dessa har lägre effekt för samma ljusutbyte jämfört med T8-lysrör. Ett exempel på besparingspotentialen för utbyte av T8-rör mot LED-rör finns i kommande avsnittet om förslag på åtgärder för belysning på sida 52.

Tabell 10: Egenskaper T8-lysrör[67].

| T8-lysrör  |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| Längd (mm) | Effekt (W) och max ljusflöde (Lumen) |
| 590        | 18 W, 1350 lm                        |
| 895        | 30 W, 2450 lm                        |
| 1200       | 36 W, 3350 lm                        |
| 1500       | 58 W, 5200 lm                        |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 45 of 115   |  |

Tabell 11: Egenskaper T5-lysrör[67].

| T5-lysrör  |  |   |
|------------|--|---|
| Längd (mm) | Typ HE för max ljusutbyte Effekt (W) och max ljusflöde (Lumen) | Typ HO för max ljusflöde Effekt (W) och max ljusflöde (Lumen) |
| 549        | 14 W, 1350 lm  | 24 W, 2000 lm   |
| 849        | 21 W, 2100 lm  | 39 W, 3500 lm   |
| 1149       | 28 W, 2900 lm  | 54 W, 5000 lm   |
| 1449       | 35 W, 3650 lm  | 49 W, 4900 lm samt<br>80 W, 7000 lm                           |

## 5.4. Huskonstruktion

Både konstruktionen av byggnadsdelar (väggar, tak, grund m.m.) samt materialen i konstruktionen har varierat över åren. Materialens betydelse ur energisynpunkt är att dess förmåga att lagra och leda värme. För att jämföra materialen, används värmeledningstalet  $\lambda$  för olika material och redovisas i tabell i Bilaga 8 som också är specificerade för en viss densitet på materialet. Om ett material har litet  $\lambda$  – värde, har det därmed bra förmåga att isolera värme och hålla kvar värme inomhus [68]. Utifrån tabellen i Bilaga 8 går det att konstatera att de tyngre materialen, som tegel och betonghålblock, har ett lågt värmeledningstal relativt exempelvis glas vid samma skiktjocklek. Att det har blivit modernt med glasfasader på både bostadshus och lokaler kan således innebära att förmågan att hålla kvar värme inne på vintern, samt att stänga ute värme på sommaren, inte blir effektivt i jämförelse med många andra byggnadsmaterial. Glaset i sig tillåter dessutom solinstrålning, vilket kräver solavskärmning för att inte ge upphov till för stor värmegenerering vilket ökar kylbehovet i exempelvis kontorsbyggnader.

Isolermaterialet mineralull har ett lägre värmeledningstal än de äldre och första isolermaterial som användes som takisolering på tidigt 1900-tal: kutterspån och sågspån. Mineralull och nyare isolermaterial har låga värmeledningstal och ger lägre U-värde i jämförelse med exempelvis lättbetong vid samma skiktjocklek. Detta innebär att isolermaterialen har bättre värmeisolerande förmåga och bidrar till en minskad värmeförlust genom klimatskärmen och därmed till en minskad energiförbrukning.

Att utveckla väggkonstruktionen från homogena väggar med ett enda material, exempelvis trä eller tegel, till att bygga med olika skikt har säkerligen också påverkat både husets inomhusklimat och energiförbrukning. Värmetröghet i byggnadskonstruktioner varierar också vilket tillsammans med  $\lambda$ -värdena påverkar energiförbrukningen och klimatet i husen. Vilken typ av fönster en byggnad har påverkar också energiförbrukningen. För att få ett begrepp om hur pass energieffektivt ett fönster är har allmänna U-värden för olika fönstertyper hämtats från Swedisol [69]. Detta företag har tagit fram överslagsvärden för olika typer av fönster och dessa redovisas i Tabell 12. Det finns många typer av fönster och för att få ett korrekt U-värde på ett fönster bör tillverkaren kontaktas.

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 46 of 115   |  |

Tabell 12: Exempel på U-värden för olika typer av fönster. [69]

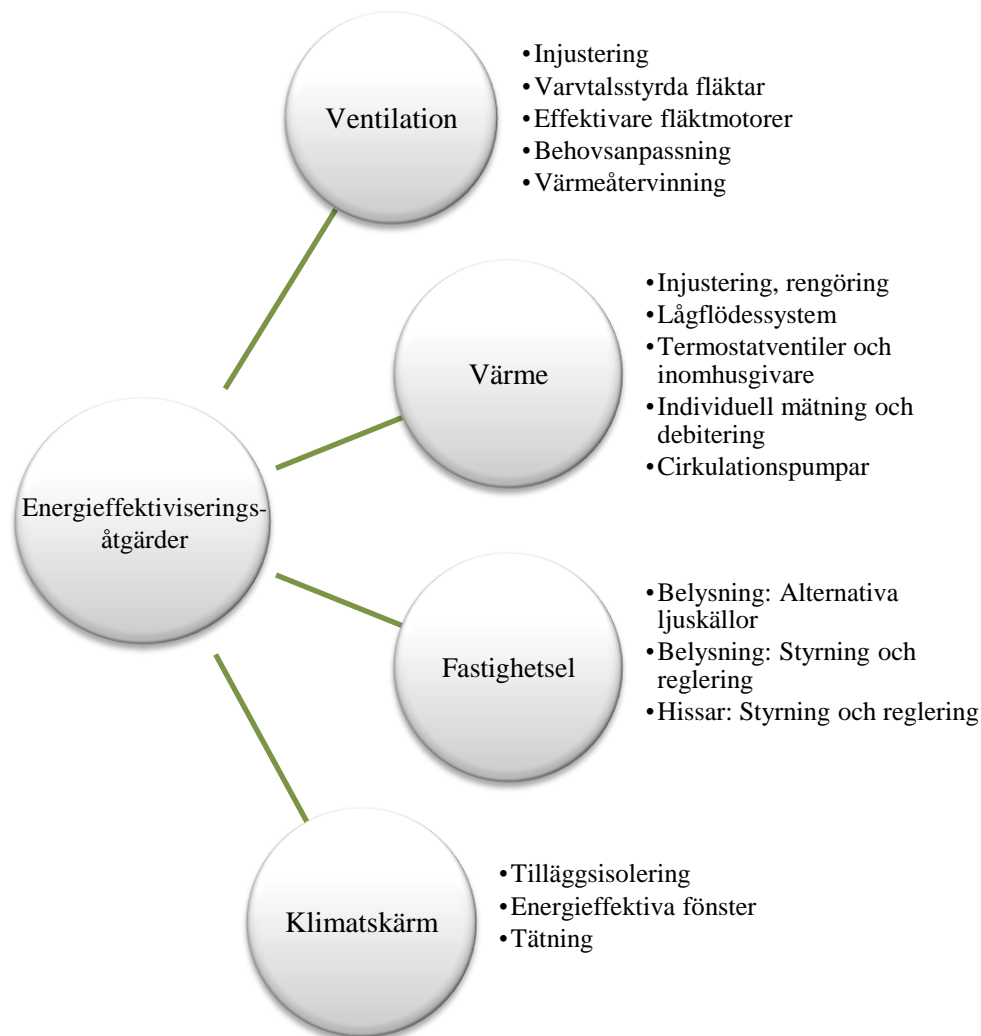
| Fönster                                     | U-värde [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ] |
|---|--|
| <b>Englasfönster [70]</b>                   | 5,5  |
| <b>Tvåglasfönster</b>                       |  |
| Kopplade bågar, alla glasavstånd            | 2,7  |
| Förseglade rutor, luft, 12 mm spalt         | 2,9  |
| Förseglade rutor, argon, 12 mm spalt        | 2,7  |
| Förseglade rutor, luft, lågmissionsskikt    | 2,1  |
| Förseglade rutor, argon, lågmissionsskikt   | 1,9  |
| <b>Treglasfönster</b>                       |  |
| Kopplade rutor, alla glasavstånd            | 1,9  |
| Förseglade rutor, luft, 12 mm spalt         | 2,2  |
| Förseglade rutor, argon, 12 mm spalt        | 2,1  |
| Förseglade rutor, luft, 1 lågmissionsskikt  | 1,8  |
| Förseglade rutor, argon, 1 lågmissionsskikt | 1,6  |
| Förseglade rutor, luft, 2 lågmissionsskikt  | 1,5  |
| Förseglade rutor, argon, 2 lågmissionsskikt | 1,4  |
| <b>Energieffektiva fönster[71]</b>          | 1,2 eller lägre  |

Enligt Tabell 12 har energieffektiva fönster lägst U-värde och kan därför antas isolera bäst. Treglasfönster med förseglade rutor och argongas samt 2 lågmissionsskikt har det näst lägsta U-värdet och är också ur energisynpunkt ett bra alternativ. Högsta U-värdet och därmed sämsta isoleringsförmågan är englasfönstret. Även fönsterramarnas material, (trä, aluminium etc.) påverkar U-värdet på fönstret. U-värdena på träramar är i regel lägre i jämförelse med aluminium ramar och är därmed mer energieffektivt [72, pp. 538-539].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 47 of 115   |  |

## 6. Åtgärdsförslag

Här redovisas allmänna åtgärdsförslag för ventilation, värmesystem, belysning, klimatskärm och hiss. Åtgärder kommer att analyseras och föreslås utifrån vad som är mest lönsamt både energimässigt och ekonomiskt sett. Dessa förslag har gjorts utifrån stöd av tidigare avsnitt om teknikens påverkan på energianvändning samt från uppskattad besparingspotential och beräkningsexempel. Vidare åtgärdsförslag görs sedan i kommande avsnitt om åtgärdsförslag för olika tidsepoker på sida 61. Energieffektiviseringsåtgärder kan göras i olika delar av byggnadens system och i Figur 21 visas de åtgärdsförslag som beskrivs i denna rapport.



Figur 21: Energieffektiviseringsåtgärder i byggnadernas system.

Åtgärder för minskad energianvändning för flerbostadshus respektive lokaler ser olika ut i vissa avseenden. I bostadshus ligger besparingspotentialen bland annat i tillförseln av värme. I lokaler som exempelvis kontor är det inte lika aktuellt att minska värmebehovet utan det handlar ofta om åtgärder som kan minska

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 48 of 115   |  |

behovet av kyla. Vid förslag av åtgärder bör krav givna för bostäder och kontor vara uppfyllda enligt de regelverk som finns bland annat om ändring av byggnad som ges av bland annat Boverket. Boverkets krav beskrivs i avsnittet om krav för byggnader på sida 14.

### 6.1. Ventilation- Injustering

Att justera ventilationssystemet till rätt dimensionerat flöde och minimera tryckfallen är viktig för att minska energianvändningen[73]. Energianvändningen ökar dels på grund av dåligt injusterade ventilationssystem och konsekvenser blir då[73]:

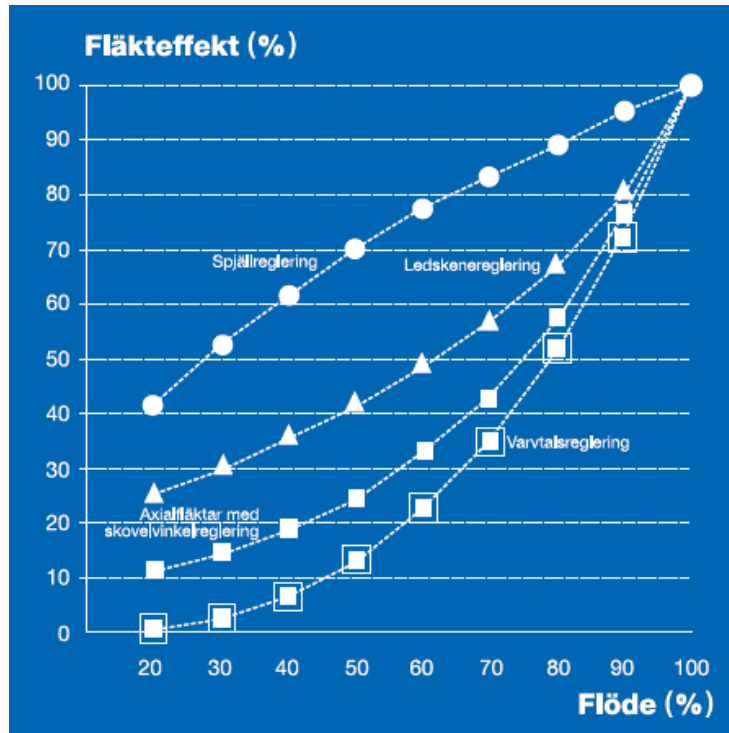
- För höga luftflöden, vilket ger upphov till drag som i sin tur ökar värmebehovet och elanvändning hos ventilationsfläktar
- För höga inomhustemperaturer som följd av kompensation för drag som bildas
- För höga tryckfall, vilket ökar elanvändningen hos ventilationsfläktar

### 6.2. Ventilation- Fläktar

Åtgärder som är lönsamma är att byta fläktar och fläktmotorer. Det är ofta möjligt att byta fläktar mot andra mer eleffektiva fläktar med varvtalsstyrning. Energianvändningen kan reduceras betydligt tack vare en uppgradering av fläkten, och ger möjligheten till behovsstyrd och årstidsanpassad ventilation[73]. Varvtalsstyrda fläktar är enligt Energimyndigheten mer energieffektiva än fläktar med stryp- eller spjällreglering[74]. Stryp- och spjällreglering går ut på att ändra motståndet i fläktkanalen och därmed variera flödet inom vissa gränser[74]. Metoden är enkel och billig, men energimässigt ofördelaktig[74]. Varvtalsreglering går ut på att styra varvtalet efter behov och är på så sätt det mest energieffektiva sättet att styra fläktdriften[74]. Energimyndigheten har också visat hur effektbehovet beror av volymflödet vid olika reglermetoder, se Figur 22 [74].



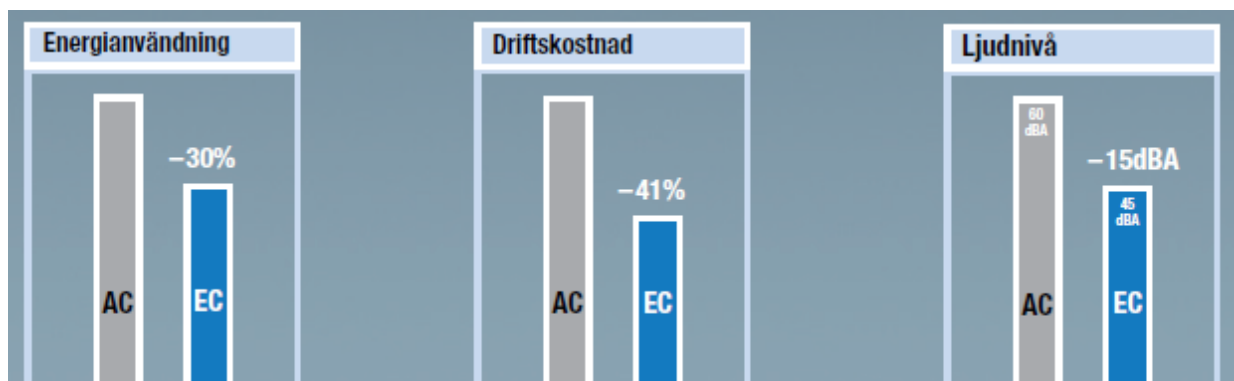
|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 49 of 115   |  |



Figur 22: Relativt effektbehov för fläktdrift med olika reglermetoder.[74]

### 6.3. Ventilation- Fläktmotorer

Överdimensionerade fläktmotorer är vanligt och kan i sig vara en anledning till motorbyte[73]. Förutom att verkningsgraden blir sämre, gör överdimensionerade motorer att reaktiv effekt bildas[73]. I regel är det mest lönsamt att byta fläktmotor i samband med någon annan åtgärd exempelvis vid byte av fläktaggregat [73]. Enligt Fastighetsägarna rekommenderas en EC-motor vilken har högre verkningsgrad i jämförelse med AC-motorn vilket beror på att i AC-motorn har större energiförluster i form av värme, jämfört med EC-motorn [21]. Motorfläktföretaget ebm-papst, har gjort en jämförelse mellan AC- och EC-motorer där de jämfört energianvändning, driftkostnad och ljudnivå, se Figur 23[55].



Figur 23: Grov jämförelse mellan AC-motor och EC-motor hämtad från företaget ebm-papst broschyr: EC-fläktar för ventilation [55].

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 50 of 115   |  |

Inför ett motorbyte bör det tas i beaktande att effektbehovet inte är linjärt mot luftflödet, utan att effekten är proportionell mot flödet i kubik[21] enligt:

$$\text{Effekt} \cong \text{flöde}^3$$

Detta innebär att om flödet fördubblas blir behovet av el åtta gånger större. Detta innebär också att eleffektbehovet kan minskas betydligt genom att sänka flödet [21]. För att få en bra dimensionerad eleffekt rekommenderar Fastighetsägarnas energiakademi att: Ta det dimensionerade flödet i m<sup>3</sup>/s och multiplicera med det givna tryckfallet i Pa vid detta flöde [21]. Multiplicera produkten med 500 vilket då ger ett ungefärligt effektbehov i kW [21]. En jämförelse med motorns märkdata kan göras för att se om det avviker med det uppskattade värdet. Om det avviker kan det vara aktuellt med ett byte av motorn [21].

#### 6.4. Ventilation- Behovsanpassning

Ett ventilationssystem kan också anpassas efter behov med fukt- eller timerstyrda frånluftsdon i badrum, toalett och tvättstuga[73]. Ett grundflöde måste alltid finnas. Även en så kallad bortafunktion kan användas. Detta innebär att luftflödet reduceras då ingen befinner sig i byggnaden[73]. Årstidsanpassad ventilation kan också spara energi. Skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur minskar på sommaren och ökar under vinterhalvåret vilket effektiviserar luftutbytet och kräver olika inställning på ventilationen[73]. Även tryckskillnaden ökar då temperaturen utomhus minskar, vilket underlättar fläktarnas arbete[73].

#### 6.5. Ventilation- Värmeåtervinning med frånluftsvärmepump

Med en frånluftsvärmepump (FVP) återvinns värme ur frånluften och värme som annars skulle gå förlorad tas tillvara. Att investera i en frånluftsvärmepump är enligt Fastighetsägarna en dyrare lösning jämfört med behovs- och årstidsanpassning eller att åtgärda fläktarna[73]. En frånluftsvärmepump kostar mellan 25 000-80 000 kronor utan installation enligt Energi och klimatrådgivningen[75]. Frånluftsvärmepumpen kan ge värme till varmvattenberedning eller användas till husets vattenburna värmesystem. Lösningen med frånluftsvärmepump leder till en ökad elanvändning eftersom el behövs till värmepumpens kompressor[73]. Frånluftsvärmepumpar finns med två olika typer av kompressorer; på/av kompressorer som är den äldre traditionella typen samt med varvtalsstyrda kompressorer som är en mer modern modell[76]. De varvtalsstyrda har högre effekt och är effektivare, de passar större hus med högre energibehov[76]. Enligt Energi och klimatrådgivningen passar frånluftsvärmepumpar i allmänhet bra i relativt nybyggda hus med samlade ventilationskanaler.

#### 6.6. Ventilation- värmeåtervinning med värmeväxlare

I samband med FT-system är det aktuellt att återvinna värmen ur frånluften. Detta sparar in den värme som behövs för att värma upp tilluften. Energi och klimatrådgivningen skriver att mellan 50-80 % av värmen i frånluften kan återvinnas och att värmeväxlare bör väljas med så hög verkningsgrad som möjligt[77]. Det påpekas också att huset ska vara tillräckligt tätt för att verkningsgraden för ventilationsaggregatet ska upprätthållas[77]. Energibesparingen vid installation av FTX-system utgörs av minskningen av värmekostnad tack vare att en del av värmen återvinns[77]. Elförbrukningen kan dock öka till följd av driften av fläkten i aggregatet[77]. I Exempel 1 ges en jämförelse mellan hur mycket energi som krävs vid

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 51 of 115   |  |

uppvärmning av tilluft utan respektive med värmeåtervinning med hjälp av värmeväxlare. Exemplet ger därmed också en bild av hur stor energibesparingen kan bli med värmeåtervinning.

#### Exempel 1: Energibesparing med värmeåtervinning.

Energibesparing av värme för uppvärmning av tilluft:

Specifik effekt för uppvärmning av ventilationsluft  $Q_v$  uttrycks som:

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v$$

Om  $q_v = 0,35 \text{ l/s m}^2$ , är flödet  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$  för  $100 \text{ m}^2$ . Luftens densitet  $\rho$  är  $1,2 \text{ kg/m}^3$  och luftens specifika värmekapacitet  $c_p$  är  $1000 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ .

Detta ger att  $Q_v$  blir  $42 \text{ W/}^\circ\text{C}$  för ett rum/lokal på  $100 \text{ m}^2$ .

Rumsvärmarnas (radiatorernas) effekt för att värma ventilationsluften beräknas med följande samband:

$$P_{v,rum} = Q_v \cdot (T_{inne} - T_{till})$$

**S- eller F-system:** Rumsvärmarnas effekt  $P_{v,rum}$  blir med inomhustemperaturen  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  och med tilluftstemperaturen som är lika med utomhustemperaturen för dessa system, här satt till medelårstemperaturen för Västerås, vilken är  $5,9 \text{ }^\circ\text{C}$  enligt Warfvinge [2]:

$592 \text{ W}$ , vilket innebär att energiförbrukningen per år blir  $5188 \text{ kWh}$  per år

**FTX-system:** Den återvunna effekten med en värmeväxlare med verkningsgrad  $85 \%$  blir då:  
 $0,15 \cdot 592 = 88,8 \text{ W}$  vilket innebär en energibesparing på  $778 \text{ kWh}$  per år.

## 6.7. Värme- Injustering, luftning och rengöring av vattenburet värmesystem

En minskad energianvändning kan enligt Fastighetsägarna, vara möjlig genom att investera i modern styr- och reglerutrustning samt genom att justera det befintliga värmesystemet[78]. Detta ger också en bättre värmekomfort[78]. Åtgärden har även låga kostnader och återbetalningstiden är vanligen kort[78]. Syftet med injustering är att säkerställa att varje radiator har samma temperatur för att få en jämn temperatur i alla rum[79]. Injustering är särskilt relevant vid byte av värmesystem [79]. En injustering av värmesystemet ger en besparing först när temperaturen blivit jämn och en sänkning kan göras i hela byggnaden: Att minska inomhustemperaturen en grad minskar energibehovet för uppvärmning med  $5 \%$  enligt Energimyndigheten [80]. Rengöring och luftning av rörsystemet gör att det håller längre, exempelvis är luftning av systemet en gång per år relevant för systemets livslängd, eftersom att radiatorer och rör kan rosta som följd av att det finns syre i vattnet [79]. I övrigt behöver systemet regelbunden tillsyn och underhåll för att fungera effektivt.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 52 of 115   |  |

## 6.8. Värme- Lågflödessystem

Konstantflödessystem med förhållandevis höga flöden och överdimensionerade radiatorer kan ofta konverteras till lågflödessystem, vilket är en effektiviseringsåtgärd föreslagen av Fastighetsägarna [78]. Enligt boken Byggnaden som system gör ett radiatorsystem med överkapacitet det möjligt att minska framledningstemperaturen och möjliggör också en minskning av vattenflödet och tryckfallet i systemet. Detta förenklar injustering och funktion av systemet[18]. En lägre framledningstemperatur minskar också värmeförlusterna i systemet. Radiatorer från tidsperioden kring 70-talet är dimensionerade för 80 °C i framledningstemperatur jämfört med dagens dimensionering med 60 °C eller lägre[18]. En lägre framledningstemperatur leder till lägre distributionsförluster och innebär också en gynnsam situation för fjärrvärme och värmepump[18]. Radiatorer från 70-talet kan behöva ersättas eller kompletteras med nya radiatorer eller fläktkonvektorer för att få ner framledningstemperaturen[78]. Detta är särskilt viktigt vid byte från olje-, el- eller vedpanna till värmepump[78]. Värmepumpens effektivitet ökar nämligen om den temperatur den ska åstadkomma är låg[18]. Lågflödessystemen är fördelaktiga i samband med fjärrvärme då detta bidrar till en lägre returtemperatur vilket är önskvärt i fjärrvärmesystemen[78]. Radiatorventiler behöver ställas om eller bytas ut vid konvertering till lågflödessystem [78]. Befintlig pump behöver också bytas ut alternativt ställas om till rätt hastighet eller tryckhöjd [78].

## 6.9. Värme- Termostatventiler och inomhusgivare

Att installera termostatventiler är ett sätt att strypa onödig värmeförlust då andra värmekällor finns i rummet, vilket är något som Fastighetsägarna tar upp[78]. Det finns reglerande och maxbegränsande ventiler[78]. Termostatventilerna känner av den andra värmekällan och reglerar värmeförlusten utifrån det. Då reglerande termostatventiler används bör framledningstemperaturen vara styrd efter utomhustemperaturen[78]. Framledningstemperaturen ska då vara en aning förhöjd för att säkerställa termostatventilens optimala förutsättningar och funktion[78]. En tryckstyrd pump bör alltid användas vid tillämpning av termostatventiler, både reglerande och maxbegränsande[78]. En tryckstyrd pump anpassar hastigheten efter behovet[81]. När termostater i huset stänger, varvar pumpen ner till lägre hastigheter[81]. Med hjälp av detta arbetar pumpen efter rätt förutsättningar och driftkostnaden kan minska upp till 50 % enligt företaget Metro Therm [81]. Tillsammans med termostatventiler är tryckstyrda pumpar en mycket effektiv lösning[78]. Tryckstyrda pumpar minskar också risken för susande och knackande ventiler[78]. Inomhusgivare kan vara ett hjälpmedel för att kontrollera den faktiska rumstemperaturen och styra värmesystemet efter inomhustemperaturen[79]. Givarna bör placeras eller väljas i antal så att ett medelvärde av inomhustemperaturen återges[79].

I samband med direktverkande el kan ett centralt reglersystem vara relevant för att minimera kostnaderna. Kostnaden enligt Energi och klimatrådgivningen är 10 000 kr för ett centralt reglersystem samt 600 kr per radiator[82]. Besparingen beror sedan på hur mycket medeltemperaturen kan sänkas i byggnaden. Ett vattenburet system har fördelar eftersom den ger hög flexibilitet vad gäller valet av värmekälla. Kostnaden för att byta till vattenburet radiatorsystem skriver Energi och klimatrådgivningen är ungefär 5 000 – 6 000 kr per radiator med rördragning inräknat[82].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 53 of 115   |  |

## 6.10. Värme- Individuell mätning

Individuell mätning berör brukarnas beteende. Med en individuell mätning av lägenheter kan en bild fås av hur stor värmeförbrukningen är individuellt sett för varje lägenhet eller för varje byggnadsdel för lokaler och debitering kan göras därefter. Det leder till en ökad medvetenhet av värmeförbrukningen och kan resultera i att beteendet för att energibesparing uppmuntras och att värmeanvändningen minskar. Boverket har gjort en rapport om Individuell mätning och debitering, IMD i flerbostadshus, enligt denna ses IMD som en möjlig åtgärd att minska värmeförbrukningen i flerbostadshus [83]. För att det ska vara motiverbart för användarna att radikalt minska värmeanvändningen krävs också bättre klimatskärm, ventilationssystem, bättre varmvattencirkulation och driftövervakning [83]. Driftövervakning är den billigaste lösningen [83]. Mätning av värmeförbrukning kan göras genom: flödes-, radiator- och temperaturmätning, vilka de två första mäter tillförd värme och det sista mäter inomhustemperaturen [83]. Det är svårt att bedöma lönsamheten för uppvärmning då detta beror av klimatskärmen och driftsystem och därmed fastighetsägarens åtgärder.

## 6.11. Värme- Cirkulationspumpar

Cirkulationspumpar finns i två olika utföranden på marknaden, den ena med manuellt inställbara hastigheter och fast varvtal och den andra är tryckreglerad med automatisk varvtalsreglering[84]. Cirkulationspump som pumpar runt vattnet i systemet är något som kan ses över, frågor som kan ställas är; Är pumpen dimensionerad för systemet den jobbar i, samt hur gammal är den och vilken verkningsgrad har den? Besparingspotentialen varierar men Energimyndigheten skriver att det är möjligt för fastighetsägaren till ett enskilt flerfamiljshus att spara 8 300 kWh per år genom att byta ut en gammal pump mot den mest effektiva pumpen i deras test. Testet är gjort på 11 olika pumpar och finns tillgängligt på [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se) [87]. Lagen om Ekodesign bör följas vid utbyte av cirkulationspump. För flerbostadshus visade testet som Energimyndigheten gjorde, att varvtalsstyrda cirkulationspumpar är effektivast [84]. Pumparna har lång livslängd och därför sitter ofta gamla pumpar som inte är varvtalsreglerade kvar i äldre hus och förbrukar mycket el[84]. Energimyndigheten skriver att 90 % av den totala kostnaden för pumpen består av kostnader för energianvändningen, medan inköp respektive underhåll endast utgör 5 % vardera [84]. Därför kan det vara lönsamt att byta cirkulationspump för att spara både energi och pengar. Vid installation av cirkulationspump är det viktigt att dimensionerna rätt och efter husets värmebehov[84]. Pumpstopp bör finnas för att möjliggöra driftstopp under den varma årstiden [84]. Om pumpstopp inte finns kan energianvändningen bli upp mot 30 % högre, därför är det viktigt med denna funktion i styr- och reglerutrustning[84].

## 6.12. Fastighetsel – Belysning: Alternativa ljuskällor

Utöver energiaspekten är det relevant att ta hänsyn till exempelvis tänd-tid, ljusfärg och dimbarhet [64]. Åtgärder för belysning innebär dels att minska den installerade effekten och dels att göra den behovsanpassad genom att reglera och styra användningen. De vanligaste lampsocklarna är E27 och E14. Av dessa socklar finns ett stort utbud av glödlampor, lågenergi-, halogen- och LED-lampor vilket gör det enkelt att utföra byten mellan dessa belysningskällor [85]. För kompaktlysrör behövs en sockel speciellt anpassad för just denna ljuskälla då denna har stift och inte skruvsockel [86]. LED belysningen kommer mer och mer som allmänbelysning och framöver är det förhoppningsvis även lönsamt både energimässigt

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 54 of 115   |  |

som ekonomiskt sett. De tidigaste lysrörmodellerna var T8- och T12-rören vilka kan bytas mot de mer energieffektiva T5-rören. Dock har T5-lysroren mindre diameter och har andra längder än T8- och T12-rören, vilket innebär att armaturen måste bytas[86]. Glödlampen har börjat fasas ut. I september 2011 förbjöds 60 W glödlampen och i september 2012 även 40 W och 25 W glödlampor [53]. Dessa ersätts av förslagsvis av lågenergilampor. Dessa lampor kan ge samma ljus men drar lägre effekt. I september 2013 kommer skärpta krav på lågenergilampor och halogenlampor[53]. Detta innebär att inte att någon typ av lampa försvinner, däremot rensas lampor med sämre prestanda ut[53]. Under september 2016 kommer också skärpta krav på halogenlampor[53]. Lågenergilamporna fungerar som direkt utbyte mot glödlampen. För att få en bild av hur mycket el som sparas om en glödlampa byts ut mot en lågenergilampa, har en exempelberäkning gjorts, se Exempel 2:

#### Exempel 2: Jämförelse av energiförbrukning och kostnad mellan glödlampa och lågenergilampa.

Belysning med glödlampa på 40 W i 10 000 timmar:  $10\,000 \times 40 = 400$  kWh

Belysning med lågenergilampa på 7 W i 10 000 timmar:  $10\,000 \times 7 = 70$  kWh

Livslängden skiljer sig för de olika lamporna. En glödlampa har en livslängd på ca 1 000 timmar. En lågenergilampa har omkring 10 gånger så lång livslängd, och antas därför ha livslängden 10 000 timmar. Priset för lamporna varierar men antas vara 69 kr för en 7 W lågenergilampa och 5 kr för en 40 W glödlampa. Elpriset antas vara 1 kr per kWh.

|   | Lågenergilampa | Glödlampa             |
|---|----------------|-----------------------|
| <b>Effektförbrukning</b>  | 7 W            | 40 W                  |
| <b>Livslängd</b>  | 10 000 timmar  | 1000 timmar           |
| <b>Total driftstid</b>  | 10 000 timmar  | 10 000 timmar         |
| <b>Kostnad per lampa</b>  | 69 kr          | 5 kr                  |
| <b>Kostnad för inköp av lampor för 10 000 timmars driftstid</b> | 69 kr          | 10 st. x 5 kr = 40 kr |
| <b>Energi under 10 000 driftstimmar</b>                         | 70 kWh         | 400 kWh               |
| <b>Elpris</b>   | 1 kr/kWh       | 1 kr/kWh              |
| <b>Total kostnad för 10 000 timmars ljus</b>                    | 70 kr          | 400 kr                |
| <b>Total kostnad för antal lampor för 10 000 timmar + el</b>    | 139 kr         | 440 kr                |
| <b>Total kostnad för 10 st. armaturer + el</b>                  | 1 390 kr       | 4 400kr               |

Detta visar att lågenergilampen har en kostnad 68,4 % lägre än kostnaden för glödlamporna. Energiförbrukningen under driftstiden 10 000 timmar är 70 kWh för lågenergilampen och 400 kWh för glödlampen. Detta innebär att energiförbrukningen för en lågenergilampa är 82,5 % lägre jämfört med glödlampen. Energi- och kostnadsbesparingen genom att välja en lågenergilampa istället för de 10 glödlampor som krävs för samma ljusflöde och en drifttid på 10 000 timmar, är 330 kWh respektive 301 kr.

#### Byte av lysrör

T5-lysroren ger mer ljus per watt jämfört med de äldre modellerna T8 och T12. 40 % av den tillförda energin blir till ljus och service life är ungefär 15 000 timmar[86]. Service life är den tid efter vilken ljuskällorna ger 80 % av sitt ursprungliga ljusflöde[87]. Hänsyn tas både till ljusnedgång och att ljuskällor

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 55 of 115   |  |

gått sönder[87]. Service life är ett bra mått på när det är dags att byta alla ljuskällorna i en anläggning[87]. Överskrids service life kommer fler och fler lampor att slockna och kostnaden för lampbyten ökar[87]. Ett förslag till åtgärd är således att byta de gamla lysrörerna mot nya T5-rör. Att byta armaturer innebär en kostnad, men också en besparing och i Tabell 13 redovisas en bedömning av möjlig besparing vid byte av T8-lysrör som Fastighetsägarna Stockholm har gjort [86]. I Tabell 14 ges också en jämförelse mellan det konventionella T8-lysröret och LED-lysröret i T8-modell.

**Tabell 13: Besparingspotential vid byte av T8-lysrör.**

| Från      | Till   | Möjlig energibesparing |
|-----------|--|------------------------|
| T8-lysrör | Nya lysrör anpassade efter T8-armatur                            | 10 %                   |
| T8-lysrör | T5-lysrör med dimfunktion och dagsljusavkänning                  | 70 %                   |
| T8-lysrör | T5-lysrör med dimfunktion, dagsljusavkänning och närvarostyrning | 80 %                   |

**Tabell 14: Besparingspotential vid byte till LED-lysrör från konventionella T8-lysrör.**

|   | LED-lysrör T8   | Lysrör T8       |
|---|-----------------|-----------------|
| Livslängd timmar  | 50 000          | 15 000          |
| Watt  | 15              | 36              |
| 1 kilowattimme räcker till  | 67 timmar       | 28 timmar       |
| Energiförbrukning för 50 000 timmar (kWh)                           | 750             | 1 800           |
| Kostnad för energiförbrukning (beräkningen baseras på 1 kr per kWh) | 750 kr          | 1 800 kr        |
| Kostnad per lysrör  | 688 kr          | 75 kr           |
| Kostnad för säkerhetsglimtändare                                    | 0 kr            | 49 kr           |
| Antal lampor för 50 000 timmar                                      | 1               | 3               |
| Kostnad för lamporna  | 688 kr          | 372 kr          |
| Totalkostnad för 50 000 timmars drifttid                            | <b>1 438 kr</b> | <b>2 172 kr</b> |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 56 of 115   |  |

### 6.13. Fastighetsel – Belysning: Reglering och styrning

Det finns olika sätt att kontrollera belysningen i en byggnad och Fastighetsägarna Stockholm tar upp dessa tre [86]:

- Dagsljusreglering
- Närvarostyrning
- Tidsstyrning

Dagsljusreglering innebär att ljuset styrs utifrån tillgången på dagsljus [86]. Närvarostyrning innebär att styrningen görs utifrån närvaro med hjälp av IR-styrning som styrs av rörelser eller med hjälp av akustikstyrning som styrs av ljud [86]. Tidsstyrningen finns i olika varianter, exempelvis kan den styras med ett tidsrelä som håller belysningen tänd en viss tid efter knapptryckning [86]. En kombination av dessa styrsystem går också att tillämpa, exempelvis kan IR-styrning och dagsljusreglering användas med fördel i trapphus [86]. För att få en uppfattning om hur mycket energi som kan sparas genom att tidsreglera dels glödlampor och lågenergilampor, ges Exempel 3:

#### Exempel 3: Energibesparing med tidsstyrd belysning.

| Energibesparing genom att tidsreglera belysningen |                                |                                 |
|---|--------------------------------|---------------------------------|
| Drifftid innan tidsstyrning                       | 24 timmar                      |                                 |
| Drifftid vid styrning                             | 12 timmar 06.00-18.00          |                                 |
|   | 7 W lågenergilampa             | 40 W glödlampa                  |
| Energiförbrukning före styrning                   | $7 \cdot 24 = 168 \text{ kWh}$ | $40 \cdot 24 = 960 \text{ kWh}$ |
| Energiförbrukning efter styrning                  | $7 \cdot 12 = 84 \text{ kWh}$  | $40 \cdot 12 = 480 \text{ kWh}$ |
| Besparing   | <u>84 kWh, 50 %</u>            | <u>480 kWh, 50 %</u>            |

Genom att använda en lågenergilampa och tidsstyrning kan man alltså spara 396 kWh energi, i jämförelse med en glödlampa utan styrning, vilket nästan är 83 % skillnad.

### 6.14. Fastighetsel – Hissar: Styrning och reglering

Effektivisering av hissar kan bidra till besparingar av elkostnader i fastighetsdriften[37]. Energimyndigheten skriver att genom upprustning av hissen kan driftbehovet minska med ca 80 %, enligt tester som gjorts[37]. Vad gäller linhissar krävs en varvtalsändring för att anpassa hastigheten på hisskorgen[37]. Med stegvis varvtalsstyrning förbrukas mycket energi och därför är det önskvärt att istället ha en steglös varvtalsstyrning [37]. Styrningen kan kombineras med återkoppling som innebär att hisskorgen styrs mycket precist till stillastående[37]. Förutom att tekniken är effektiv, ger den också en behaglig transport [37]. Hydraulhissens modernisering sker ofta genom att optimera lyftcylindern eller genom installation av nytt elektroniskt ventilsystem [37]. En sådan upprustning kan ge energibesparingar i

#### EN1315

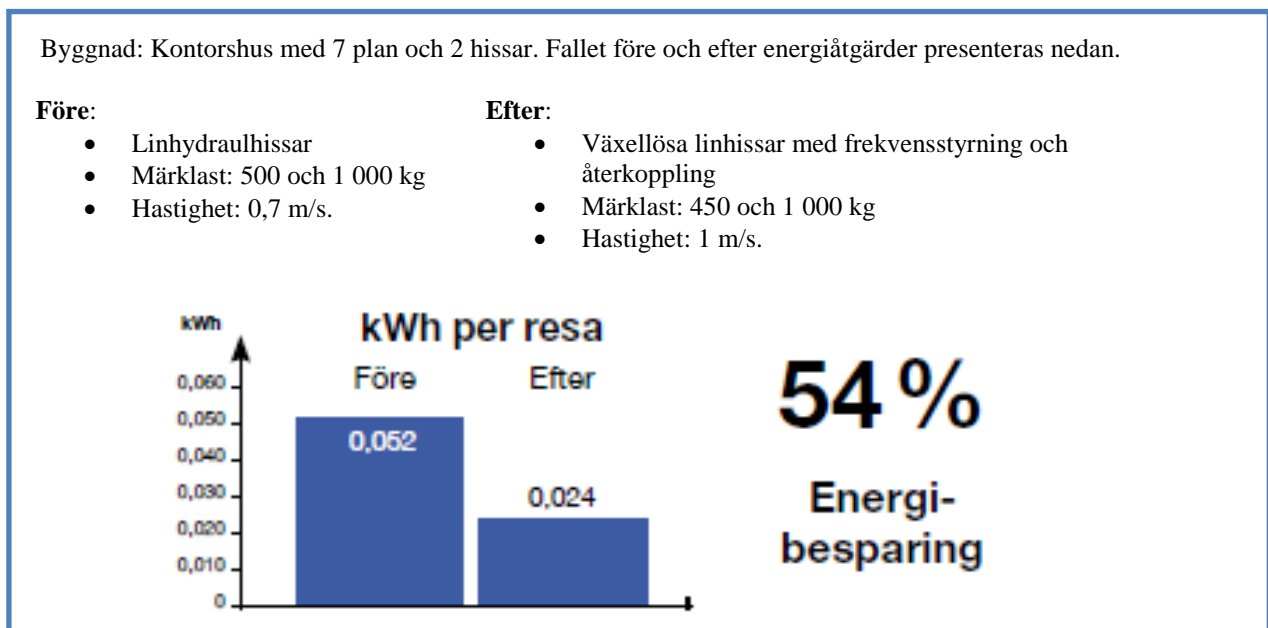
Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 57 of 115   |  |

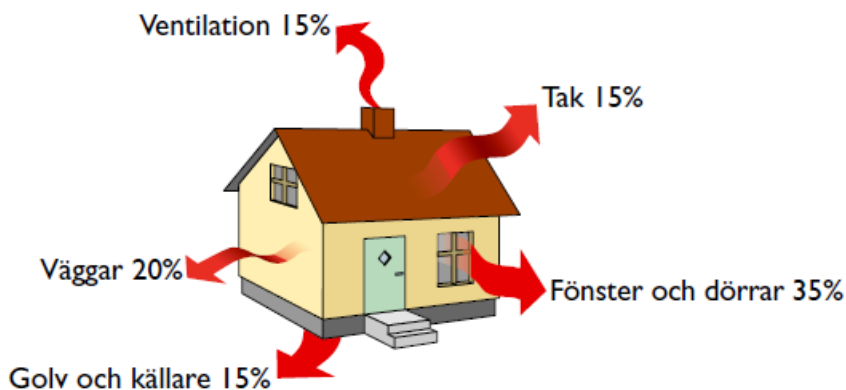
kWh upp till 35 % [37]. Exempel 4 ges för att få en uppfattning om hur det kan se ut före och efter åtgärder för en linhiss i ett kontorshus. Exemplet är taget direkt ur Energimyndighetens broschyr Energieffektiva hissar och rulltrappor[37]. För ytterligare information om testet och för fler exempel hänvisas det till denna broschyr[37]. Energimyndigheten skriver också att besparingspotentialen inte är lika stor för bostadshus. Det är motiverbart med en åtgärd om det sker i samband med ombyggnationer.

#### Exempel 4: Energibesparingsåtgärd för hiss.



### 6.15. Åtgärder klimatskärm

Energieffektiviseringsåtgärder för klimatskärmen inkluderar tilläggsisolering, tätningsåtgärder av fönster, byte av fönster och installation av lågenergiglas. I Figur 24 nedan, tagen från Energimyndigheten visas ett exempel på hur stor del värme i olika delar i ett hus kan försvinna ut.



Figur 24: Exempel på var värmeförluster i ett hus finns. Källa: Energimyndigheten[88].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 58 of 115   |  |

## 6.16. Klimatskärm- Isolering av vindsbjälklaget

Att tilläggsisolera vindsbjälklag är enligt Energi och klimatrådgivningen ofta lönsamt och är vanligen en enkel åtgärd[89]. Äldre hus har ofta mindre än 20 cm isolering, vilket gör det intressant att tilläggsisolera och upp till 40-50 cm kan vara lönsamt[89]. Enligt Energimyndigheten motsvarar 10 cm isolering ett U-värde på ca 0,5 watt per kvadratmeter och grad[90]. Vidare sänks U-värdet med drygt 0,1 watt per kvadratmeter och grad med 50 cm isolering [90]. Energi och klimatrådgivningen ger rådet att om den äldre isoleringen består av torrt och friskt kutterspån, kan denna ligga kvar under den nya isoleringen[89]. Vid tilläggsisolering är det viktigt att se till att ventilationen blir anpassad efter åtgärden[89]. Att tilläggsisolera taket med mineralull eller lösull kostar enligt Energi och klimatrådgivningen ca 250 kronor per m<sup>3</sup>. Kostnaden blir då kring 100 000 kronor för en yta på för 1000 m<sup>2</sup> och en 40 cm tjock isolering.

I Exempel 5 ges en exempel på energibesparingspotential i samband med tilläggsisolering av ett vindsbjälklag på 1000 m<sup>2</sup>, beräkningen redovisas i sin helhet i Bilaga 5. Beräkningen har syftet att ge en bild av hur stor besparingen i ett tak kan bli. Exempel 5 ger också en bild av hur energiförluster och besparingspotential kan se ut beroende på det geografiska läget. Hänsyn har inte tagits till eventuella köldbryggor eller intern värmegenerering. Vidare betonas det att besparingspotentialen för en isoleringsåtgärd inte endast beror av hur pass mycket värmeförlusterna minskar i konstruktionen, utan också på byggnadens övriga system. För att få en rättvis bild energibesparing för en viss byggnad, bör ytterligare beräkningar och eventuellt simuleringar göras. Byggnaden som helhet bör således betraktas.

### Exempel 5: Energibesparingspotential vid tilläggsisolering av vindsbjälklag.

Exempel med tilläggsisolering av vindsbjälklag. Vindsbjälklaget har först isolering i form av 10 cm sågspån och därefter tilläggsisoleras det med 40 cm mineralull. Utförlig beräkningsgång och vidare information för exemplet ges i Bilaga 5.

| Ort      | Energiförlust,<br>med 10 cm sågspån<br>[kWh] | Energiförlust,<br>med 40 cm<br>tilläggsisolering<br>[kWh] | Besparing<br>[kWh & kronor] |
|----------|--|---|-----------------------------|
| Arjeplog | 97 182                                       | 14 132  | 83 050                      |
| Västerås | 65 966                                       | 9 592   | 56 374                      |
| Lund     | 56 442                                       | 8 208   | 48 234                      |

Energimässigt och ekonomiskt skulle denna åtgärd innebära en årlig besparing på 85 % då energipriset är 1 kr/kWh. Det blir också tydligt att den geografiska placeringen avgör hur stor energiförlusten blir, och besparingen blir lika stor för de olika orterna.

## 6.17. Klimatskärm- Isolering av väggar och grundkonstruktion

Energi och klimatrådgivningen skriver att isolering av ytterväggar är en dyr åtgärd men är relevant i samband med renovering[89]. Vid tilläggsisolering av väggen ska göras finns ett flertal alternativ vilka beskrivs nedan. Enligt Fastighetsägarna är det tekniskt sett att föredra utvändigt isolering framför invändigt

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 59 of 115   |  |

eftersom det ger en högre isolereffekt och leder till att grundkonstruktionen hållas torrare och varmare [91]. Mest optimalt för utvändigt isolering är tegel- och lättbetongväggar [91]. Normalt sett putsas isoleringen på utsidan efter den monterats [91]. Utvändig isolering är oftast inte aktuell då husfasaden ska bevaras eller då fasaden består av ventilerat tegelskal. Då är det istället relevant med invändig isolering [91]. Tilläggsisolering gör också att ytterväggskonstruktionen blir mer lufttät [91]. Vid invändig isolering av yttervägg innebär detta att väggkonstruktionen blir kallare och mer känslig för fukt[92]. Det totala U-värdet hos väggen minskar även med invändig isolering och gör att mindre energi för uppvärmning då behövs [92]. Köldbryggor och deras påverkan kan bli värre efter invändig isolering då det gör den gamla väggkonstruktionen kallare[92]. Ett alternativ som är aktuellt då det yttre utseendet på fasaden ska behållas är att spruta in isolering i hålrum eller kanaler [91]. Exempel på material som används för detta är mineralull, skumisolering och cellplastkulor [91]. Till följd av tilläggsisolering påverkas inomhusklimatet och ventilationen behöver då ses över till följd av att tillförseln av tilluft via otätheter minskar eller uteblir [91].

Att tilläggsisolera grundkonstruktionen på en befintlig byggnad är ofta svårt att genomföra rent praktiskt. Dock skriver Energi och klimatrådgivningen att det är möjligt att isolera utsidan av källarväggen i samband med omdränering av husgrunden[89]. Då husgrunden har så kallad platta på mark, kan det vara aktuellt med kantbalksisolering och kan göras med hjälp av att cellplastskivor läggs horisontellt under markytan[89].

## 6.18. Klimatskärm- Fönsterbyte

Enligt Fastighetsägarna kan upp till 30 % av värmen i ett hus läcka ut genom fönstren[93]. Vad Energi och klimatrådgivningen rekommenderar när det är dags att byta ut fönster, är att välja energisnåla fönster (med lågt U-värde) för att energibehovet ska minska under längre sikt[94]. Samtidigt som energi sparas blir också inomhusklimatet bättre eftersom kallraset från fönstren minskar[94]. I Exempel 6 ges exempel på hur stor energibesparingen kan bli vid utbyte av 2-glasfönster till 3 alternativa fönstertyper med lägre U-värde. Ett nytt tvåglasfönster kostar enligt Kostnadsguiden mellan 700 och 3 000 kronor och treglasfönster mellan 2 000 och 5 000 kronor[95]. Priset beror på U-värdet för fönstret, ju bättre U-värde desto dyrare fönster[95]. För ett hus med 10 fönster blir det upp till 50 000 kronor i kostnad för nya treglasfönster, utan kostnad för arbete inräknat som krävs vid fönsterbytet. Priset beror på vilken installatör och modell som väljs[95].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 60 of 115   |  |

**Exempel 6: Exempel på energibesparing vid utbyte av fönster.**

Energibesparing genom att byta ett tvåglasfönster:

Före åtgärd:

- Kopplade tvåglasfönster med U-värde:  $2,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Efter åtgärd:

- Alternativ 1: 3-glas med luft, U-värde:  $2,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- Alternativ 2: 3-glas med argon, 2 lågemmissionsskikt, U-värde:  $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- Alternativ 3: Energieffektiva fönster, U-värde:  $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Temperaturen inomhus  $T_i$   $20 \text{ }^\circ\text{C}$  och temperaturen utomhus  $T_u$  antas vara normalårstemperaturen för Västerås,  $5,9 \text{ }^\circ\text{C}$  [2]. Arealen på ett fönster är  $1,5 \text{ m}^2$ . Energiförlusten  $\dot{Q}_{\text{fönster}}$  genom fönstret ges av:

$$\dot{Q}_{\text{fönster}} = U_{\text{total}} \cdot A_{\text{fönster}} \cdot (T_i - T_u)$$

Årlig energiförlust genom tvåglasfönstret:  $2,7 \cdot 1,5 \cdot (20 - 5,9) = 8760 = 500 \text{ kWh}$

Förlusten för respektive alternativ beräknas på samma sätt.

Energibesparing genom att byta ut ordinarie 2-glasfönster för respektive åtgärdsalternativ:

- Alternativ 1: 92 kWh
- Alternativ 2: 241 kWh
- Alternativ 3: 278 kWh

Alternativ 3 med energifönster ger den största förlustreduktionen på nästan 280 kWh per fönster. Är antalet fönster i exempelvis ett flerbostadshus 15 stycken blir den årliga energibesparingen 4 200 kWh.

Det är kostsamt att byta fönster, men enligt Energi och klimatrådgivningen finns det olika alternativ för att komplettera de befintliga fönstren och som fortfarande är lönsamt energimässigt sett[89]. Ett alternativ är att komplettera exempelvis 2-glasfönster med en extra ruta eller byta ut en glasruta till isolerruta[89]. Vid insättning av isolerruta, är denna mycket tjockare och tyngre och det är därför viktigt att kontrollera att glaset får plats och att upphängningen av fönstret klarar av tyngden [80]. Energi och klimatrådgivningen skriver att det är möjligt att minska U-värdet från 3 till 2 genom att byta ut det inre glaset till ett lågemissionsglas, vilket reflekterar tillbaka värme in i rummet. Detta är det billigaste och vanligtvis det enklaste alternativet[89]. I samband med renovering är det också bra att kontrollera tätningslisternas skick[94]. Energi och klimatrådgivningen har också gett exempel på vad det kostar att utföra olika åtgärder med ett hus med 2-glasfönster. Exemplet visas i Tabell 15 nedan och avser ett hus i Stockholmstrakten med en fönsteryta på  $15 \text{ m}^2$ .

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 61 of 115   |  |

Tabell 15: Exempel på kostnader för åtgärder på 2-glasfönster.

| Åtgärd                                    | Nytt U-värde | Investering Kr* | Besparing kWh/år* |
|---|--------------|-----------------|-------------------|
| Byte av inre glas till lågmissionsglas    | ca 1,9       | 10–20 000       | ca 1 500          |
| Byte till energifönster                   | 1–1,3        | 80–90 000       | ca 2 500          |
| Byte av inre glas till tvåglas isolerruta | 1–1,8        | 20–40 000       | 1 500–2 500       |
| Komplettering, tredje ram med klarglas    | ca 1,8       | 15–25 000       | ca 1 500          |

\* Beräknat för ett hus i Stockholmstrakten med en total fönsteryta på 15 kvm.

Att täta runt fönster- och dörrar[96] leder till att värmeförluster, önskat drag och buller samt kondens i dörrkonstruktioner minskar[96]. Beroende på om det är övertryck eller undertryck i en byggnad, läcker varmluft ut respektive kallluft in[96]. Varmluft som läcker ut kan leda till fuktskador och kallluft som läcker in kan göra att värmebehovet ökar för att bibehålla en behaglig inomhustemperatur [96]. I båda fallen är det motiverbart att täta. Även här är det viktigt att beakta att byte av fönster och tätning av fönsterlister gör att ventilationen kan behöva ställas om eller kompletteras samt att dimensioneringen av värmesystemet kan behöva ses över[96].

### 6.18.1. Livslängd hos material och system

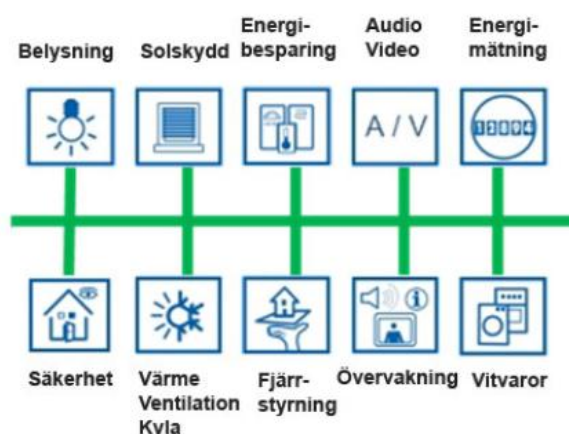
En begränsad livslängd på material och system kan avgöra när det är tid att göra renoveringar och byta ut komponenter. Livslängden för byggnadsmaterial och byggnadskonstruktioner har sammanställts av en försäkringsmäklare som heter Willis [97]. Till grund för de uppgifter som sammanställts av företaget har Meddelande M84:10 Statens institut för Byggnadsforskning, Sammanställning av livslängdsuppgifter SABO-Avskrivningsregler samt värden utifrån erfarenhet använts [97]. Sammanställningen hittas i Bilaga 4. Utifrån livslängden på material kan planering inför eventuella åtgärder göras. Enligt hemsida för isolerföretaget *Swedisol* har mineralullsprodukter vanligen en livslängd motsvarande byggnadens livslängd och företaget påstår att isolermaterialets tekniska egenskaper med säkerhet bibehålls i upp till 100 år[98].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 62 of 115   |  |

## 6.19. Kontrollsystem

Ett stort genomslag har gjorts av olika kontroll-, styr- och reglersystem. Dessa system ger besparingsmöjligheter i energisynpunkt både vad gäller ventilation och värme men också belysning. Exempel på system ges nedan och kan vara en kompletterande åtgärd för den redan energieffektiva utrustningen eller för att påverka boendes beteende eller underlätta arbetsmiljön i kontorsbyggnader.

KNX är ett styrsystem som bland annat ABB säljer komponenter till. KNX innebär att fastighetens elfunktioner kan samverka via ett och samma kommunikationssystem och på så sätt fungera tillsammans[99]. De ingående systemen som kan styras med KNX visas i Figur 25. Olika typer av styrning kan kombineras med tidsfunktioner och säkerhetsfunktioner[99]. Med olika typer av sensorer som läser av omgivningen som exempelvis temperatur, ljusstyrka eller närvaro[100]. En signal via en så kallad busskabel skickas till mottagande enheter som exempelvis markiser, fläktar eller lampor som tar emot signalen via ett slags intelligent relä, aktorer[100]. Utifrån signalen gör enheterna sin uppgift och stänger av eller slår på[100]. KNX är en modern fastighetsautomation och kan ge kontroll över energianvändningen vilket i sig kan leda till en minskad energianvändning genom att påverka människors medvetenhet om sin energiförbrukning. KNX bidrar till en helhetssyn för byggnadens olika system och dess samverkan och energipåverkan. KNX kan således vara en framtidslösning för ventilation-, värme- och belysningsystem samt övriga elsystem i en byggnad och är dessutom tillämpbar i alla typer av lokaler. Med de effektivare system vi har idag, och med de mer effektiva komponenter som hela tiden utvecklas kan detta system vara ett ytterligare verktyg att sänka energianvändningen vara en bidragande faktor till optimal besparing energimässigt och ekonomiskt sett. KNX kräver kabeldragningar mellan styrenhet och det system som ska styras. Exempelvis måste kabel dras mellan strömbrytare och styrenhet för att kunna styra belysningen.



Figur 25: Systemkomponenter som kan styras med KNX Källa: [www.eliasab.se](http://www.eliasab.se). [101].

Energidisplayer är en display som kan visa bland annat boendes energianvändning i hushållet. Detta är i kombination med individuell mätning och debitering ett steg mot att påverka beteendet hos människor. Ett exempel på energidisplayer är *Aware Clock* eller *Fortums energidisplayer*. Dessa kan ge en översikt över energianvändningen och elförbrukningen i ett hushåll som på sikt kan göra att energianvändningen sänks då människor blir mer medvetna om sin förbrukning.

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 63 of 115   |  |

## 7. Åtgärdsförslag utifrån tidsepok

Åtgärdsförslag kommer nu att föreslås utifrån en epoktypisk byggnad. Åtgärderna kommer sedan att prioriteras efter vad som är mest lönsamt både energimässigt och ekonomiskt sett. Mellan år 1950-1975 byggdes flerbostadshus i samband med miljonprogrammet som bedöms ha en stor energibesparingspotential idag. Husen är byggda på likartat sätt på grund av att byggnaderna följde de dåvarande minimikravens byggregler, är till antalet många och i nuläget aktuella att renovera [27]. Dessa byggnader kommer på grund av deras likheter att analyseras i grupp vad gäller åtgärder på klimatskärmen i samband med 1970-talets åtgärder. Den road map som gjorts har varit utgångspunkt för åtgärdsförslagen och redovisas i Bilaga 1 där epokenas byggnadssystem för ventilation, värme, belysning och konstruktion av klimatskärmen presenteras.

### 7.1. 1910-talet

Vad gäller klimatskärmen från ett hus från 1910-talet, är den av ett homogent material så som tegel eller trä. Någon isolering förekommer inte. Taket är också enkelt med plåt som ytskikt och med isolermaterial så som koksaska, samt brädgolv. För ett bostadshus är isoleringsåtgärder och tätning därför relevant. Vid tilläggsisolering är det i väggkonstruktionen ett stort och dyrt ingrepp, som därför rekommenderas i samband med renovering eller liknande[80]. Isolertjockleken enligt Energimyndigheten rekommenderas till minst 20 cm i ytterväggen respektive 40 cm i yttertaket[80]. Vid tilläggsisolering av taket bör det samtidigt säkerställas att genomföringar i vindsbjälklaget är tillräckligt täta. En mineralullsisolering på 20 cm i väggarna skulle minska U-värdet från  $0,923 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  till  $0,082 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Fönstren är enkelglas med en extra skiva vintertid. Det skulle därför vara en förbättring energimässigt sett att byta ut dessa mot helt nya fönster. Eftersom 3-glas är standard idag, är det ett önskvärt alternativ. Det finns också energi- eller isolerglas med lägre U-värden att välja mellan. Att täta runt fönstret med nya tätningslister är aktuellt samt justera beslag och täta luftläckage mellan karm och yttervägg[80]. Att byta och täta fönster samt att tilläggsisolera kan ställa högre krav på ventilationen. Därför är det viktigt att ha detta i åtanke vid även dessa typer av åtgärder.

Möjligheten finns att installera mekanisk till- och frånluftventilation. Det innebär en kostnad att installera mekanisk ventilation till följd av ombyggnadskostnader, kostnad för utrustning, installation och för drift av exempelvis fläktar. Trots kostnaden är detta en åtgärd som sannolikt ändå blir nödvändig i samband med exempelvis tätnings- och isoleringsåtgärder av klimatskärmen. Kanaler behövs för mekanisk ventilation. Det finns antagligen kanaler för frånluft och rumsspecifik kakelugnseldning kvar i bostadsbyggnader vilket gör det möjligt att återanvända kanalerna för mekanisk frånluftventilation eller fläktförstärkt självdrag[10], vilket då kan vara ett alternativ. Att återanvända kanaler är också möjligt i lokaler där kaloriferyttemat varit verksamt, enligt *SBUF* [41]. Värmeåtervinning är inte relevant om tilluftskanaler saknas, därför prioriteras denna typ av åtgärd bort här. Vid valet av fläktar bör varianter med varvtalsstyrning väljas eftersom effektbehovet hos fläkten då blir mindre i jämförelse med andra reglersystem. Den varma murstockens betydelse för självdragsventilation bör detta beaktas vid byte av värmekälla om det sker från panna till exempelvis fjärrvärme eller bergvärmepump. Vid ett sådant byte blir murstocken kall och

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 64 of 115   |  |

funktionen av självdraget kan förloras, vilket gör att ventilationen slutar fungera[102]. Förslagsvis är en panna med vattenburet distributionssystem lämpligt i detta avseende.

I byggnader från denna tid kan det förutom installation av vattenburna distributionssystem vara aktuellt med direktverkande elvärme. Elvärme är i allmänhet enkelt att installera men dyrt i drift. Det kräver inga rördragningar, men däremot eldragningar till respektive radiator[2]. Direktverkande el med centralt reglersystem kan vara ett alternativ som ger en jämnare rumstemperatur. Kostnad för detta tas upp i samband med åtgärder i värmesystemet på sida 51.

Belysningen under den här tiden var vanligen inte elektrisk då endast ca 30 % av bostäderna hade elektrisk belysning. Idag har alla byggnader elektricitet och därför antas att armaturen är av konventionell men inte nödvändigtvis modern typ. En energieffektiv belysning bör väljas för att minimera elkostnader. En energieffektiv belysning kan också leda till att kylbehovet minskar, speciellt i kontorslokaler där andelen belysning ofta är större än i bostäder och där ett kylbehov också finns. I samband med belysningens påverkan på energianvändning i avsnitt 5.3, samt åtgärder för belysning på sida 52, kan en lämplig ersättare till de äldre och mindre effektiva ljuskällor hittas.

## 7.2. 1920-talet

Väggkonstruktionen och fönstren på 1920-talet är likartad för den från 1910-talet, därför är åtgärdsförslagen desamma. Takkonstruktionen en aning annorlunda ut men tilläggsisolering av taket är aktuell för byggnader även från denna epok, vilket innebär att åtgärdsförslaget för takkonstruktionen är desamma som för 1910-talets byggnad. Tilläggsisolering av taket skulle innebära en minskning av U-värdet och således minska uppvärmningskostnaderna. Exempel 5 på sida 57 ger ett exempel på hur stor energibesparingspotentialen kan bli med tilläggsisolering i vindsbjälklaget.

Under 1920-talet var självdrag vanligt i både lokaler som i bostäder, Stockholmsventilation användes ofta i bostäder. Här blir åtgärder för ventilationen relevant om klimatskärmen åtgärdas. Om värmeförlusterna genom klimatskärmen minskar, ökar behovet av ventilationsåtgärder eftersom en förbättring av luftkvaliteten antagligen blir nödvändig. En nödvändighet och samtidig en effektiviseringsåtgärd anses då vara desamma som för självdrag; exempelvis komplettera med mekanisk ventilation med varvtalsreglerade fläktar.

Dimensioneringen av det vattenburna värmesystemet kan ses över och justeras. Detta är särskilt viktigt vid byte av värmekälla och i samband med åtgärder på klimatskärmen eftersom värmebehovet kan förändras. Förmodligen behöver systemet bytas ut till viss del eller helt i hus från 1920-talet. Rostiga rör och radiatorer bör undvikas och därför bör systemet också luftas och underhållas regelbundet vilket kan vara aktuellt om systemet inte behöver bytas ut. Termostatventiler kan installeras för att reglera värmen i rummen. Cirkulationspumpens skick och funktion bör också kontrolleras, se förslag på åtgärder för cirkulationspumpar i kapitel 6.11.

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 65 of 115   |  |

Det elektriska ljuset var i form av glödlampor på den tiden. För att minska på elanvändningen med hjälp av åtgärder i belysningen, är en lampa med lägre energiförbrukning att föredra. Styrning och reglering av belysningen är också aktuell att installera. Rörelsestyrning kan vara ett alternativ i trapphus och tidsstyrd belysning kan vara aktuellt i kontorslandskap. En jämförelse mellan energiförbrukning och kostnad mellan glödlampa och lågenergilampa ges i Exempel 2 på sida 53. I Exempel 3 på sida 55 ges också exempel på hur mycket som kan sparas med tidsstyrd belysning.

### 7.3. 1930-talet

Även under denna tidsperiod är isolering en aktuell åtgärd för minskad värmeförlust genom väggarna för att åstadkomma en lägre energianvändning. Denna typ av åtgärd är kostsam och omfattande och är inte något som utförs om inte renovering av ytterväggen är aktuell. Ett första alternativ kan därför vara att tilläggsisolera taket. En aktuell åtgärd är att tillsätta isolering utefter de standarder som finns idag på 40 cm[80]. Besparingspotentialen är god och ett exempel på detta ges i Exempel 5 på sida 57 där jämförelsen mellan två isolermaterial görs och beräkningen redovisas i detalj i Bilaga 5. 2-glasfönster blev standard under 1930-talet. En åtgärd är att byta till fönster med lägre U-värde exempelvis lågemissionsglas alternativt sätta in en extra isolerruta. Beräkningsexempel på utbyte av 2-glasfönster ges i på sida 59 i Exempel 6. Att se över tätningslister runt fönstren är också ett sätt att säkerställa att värmeförluster minimeras.

Ventilationen ser likartad ut mellan 1930- och 1950-talet då F-systemet och självdraget var vanligt i bostäder. I lokaler började separata till- och frånluftskanaler att användas. Frånluftssystemet kan effektiviseras genom att optimera den mekaniska delen, det vill säga fläkten och fläktmotorn. Att använda effektiv reglering och styrning är viktigt. Förslagsvis bör en varvtalsstyrd fläkt användas och drivas av en EC-motor. Varvtalsregleringens inverkan på fläkteffekten gentemot andra reglertyper visas i Figur 22 på sida 48 i det allmänna avsnittet om åtgärder för ventilation på sida 47-49. Det är också aktuellt att undersöka möjligheterna till värmeåtervinning. Ett exempel på värmeåtervinningens påverkan på energiförbrukningen för uppvärmning av tilluft ges på i Exempel 1 på sida 50.

Värmekällan på 1930-talet var kol-/vedpanna och centralvärmen hade brett ut sig i byggnadsbeståndet. Åtgärder så som injustering, installation av termostatventiler samt luftning av distributionssystemet är relevanta. Resonemanget om cirkulationspumpar och deras effektivitet blir detsamma för denna epok som för 1920-talet på sida 63, se mer information vad gäller cirkulationspumpar och åtgärder i kapitel 6.11. Isolering av varmvattens- och VVC-rör är åtgärder som kan minska värmeförluster på den kalla delen av året. Individuell mätning kan också motiveras och påverka brukarnas beteende till minskad energianvändning. Injustering av värmesystemet och installation av termostatventiler kan vara lönsamma då ändringar i klimatskärmen har gjorts, eftersom den tillförda värmemängden behöver anpassas. Andra alternativ än kol som bränsle för uppvärmning bör övervägas ur miljösynpunkt. Ved är mer fördelaktigt, men annars är bibränslen som exempelvis pellets att rekommendera. I och med att värmesystemet från denna tid är vattenburet kan fjärrvärme vara en alternativ uppvärmningskälla om det är utbyggt i det geografiska området.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 66 of 115   |  |

Det elektriska ljuset och glödlampan är utbredd över byggnadsbeståndet under 1930-talet. Som tidigare nämnts kan en ekonomisk och energimässig besparing göras genom att byta ut glödlampan mot en annan energieffektivare lampa med samma sockel samt genom att använda effektiv styr- och reglerteknik. Lågenergilamporna fungerar som direkt utbyte mot glödlampan. På sida 52-55 ges åtgärdsförslag för belysning och Exempel 2 på sida 53 redovisar en jämförelse mellan lågenergilampan och glödlampan och Exempel 3 på sida 55 ger exempel på besparing i samband med tidsstyrning.

#### 7.4. 1940-talet

Även för byggnader från 1940-talet, är det aktuellt att tilläggsisolera taket eller byta ut isolermaterialet mot ett modernt isoleringsmaterial med lägre U-värde. Exempel på tilläggsisolering av tak samt den geografiska faktorns skillnad på energiförluster ges i Exempel 5 på sida 57. Fönster kan bytas ut mot mer energieffektiva sådana. Exempel för utbyte av fönster från 2-glasfönster till andra mer energieffektiva alternativ ges i Exempel 6 på sida 59.

Åtgärder för frånluftssystemet handlar om likartade åtgärder föreslagna för 1930-talet, se sida 64 men också de allmänna åtgärdsförslagen för ventilation på sida 47-49. Det är bland annat aktuellt att undersöka möjligheterna till värmeåtervinning. Ett FTX-system kan installeras och utformas antingen med ett separat aggregat för varje lägenhet eller med ett gemensamt aggregat för ett eller flera trapphus[80]. En värmeväxlare med så hög verkningsgrad som möjligt bör då väljas[80]. Mellan 50 och 80 % av värmeenergin kan återvinnas av den värme som krävs för att värma tilluften. En temperaturverkningsgrad på 50 % innebär att hälften av värmen i frånluften återförs tilluften[2]. Energibesparingar kan också göras om styrning och reglering införs, så att systemet bland annat stängs av då lägenheten står tom[80]. För att få en uppfattning om potentialen att spara värmeenergi för uppvärmning av tilluft vid konvertering från S-, F- eller FT-system till FTX-system ges Exempel 1 på sida 50. Hur stor besparingen blir beror bland annat även på geografiskt läge och husets täthet. Exemplet ger en bild av den mängd värme som krävs för uppvärmning av tilluften och hur mycket värmeenergi som kan sparas genom att återvinna värme ur frånluften. Fläktarna som användes under 40-talet hade oftast framåtböjda skovlar som drevs via remväxel av en trefas asynkronmotor och verkningsgraden för ett sådant system ligger runt 20 % enligt Renovera energismart[80]. Vidare kan verkningsgraden höjas till 40 % genom att byta till en EC-motor [80]. En jämförelse mellan EC- och AC-motorn ges i Figur 23 på sida 48. Effektiviteten kan höjas ytterligare om fläktar med bakåtböjda skovlar utan remväxel och med varvtalsstyrning väljs[80]. Självdraget kan effektiviseras med flödesförstärkare sommartid och med uteluftsventiler vintertid[80]. Flödesförstärkare hjälper till att driva på luftflödet eftersom temperaturskillnaden minskar under sommaren vilket gör att drivkraften i ventilationen inte blir tillräcklig. Uteluftsventiler vintertid kan strypa inflödet om det blir för stort under den kalla årstiden. Uteluftsventilerna ger även möjligheten att styra flödet för respektive lägenhet samt för att uppnå ett jämnt flöde året om[80].

Uppvärmningen under denna epok är vedpannan med vattenburet distributionssystem. Här är det samma åtgärder som är aktuella som det var för tidsepokerna 1920- och 1930-talet och dess värmesystem, se sida 63 och 64. I avsnittet om åtgärder för värmesystem ges också förslag på åtgärder för vattenburna värmesystem på sida 50-52.

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 67 of 115   |  |

På 1940-talet slog de konventionella lysrören igenom i Sverige. Glödlampor kan åtgärdas enligt 1930-talets föreslagna åtgärdsförslag, se sida 64. Lysrören kan bytas ut mot T5-lysrör med dagsljusavkänning, dimmerfunktion och/eller närvarostyrning. Att investera i en reglering av belysningen kan vara lönsam. På sida 52-55 ges åtgärdsförslag för belysning där Exempel 2 på sida 53 visar en jämförelse mellan glödlampa och lågenergilampa och i Exempel 3 på sida 55 ges exempel på hur stor energibesparingen kan bli vid tidsstyrning av dels glödlampan och lågenergilampan.

## 7.5. 1950-talet

Flerbostadshus som byggdes mellan 1950-1975 bedöms ha stor energibesparingspotential. Dessa byggnader kommer på grund av deras likheter i konstruktion att diskuteras i grupp vad gäller åtgärder på klimatskärmen. Dessa specificeras i samband med 1970-talets åtgärder. För åtgärder inom frånluftssystemet, se åtgärdsförslag om ventilation på sida 47-49.

Olja var billigt under denna tidsepok och användes vanligen som bränsle i pannor. En modern oljepanna är i sig ett alternativ för att verkningsgraden är bättre. Dock är en ny oljepanna inte ett hållbart alternativ, varken miljömässigt eller ekonomiskt sett. Vidare är den framtida tillgången på olja osäker, både på grund av instabilitet i oljeproducerande regioner och på grund av sinande oljereserver. Därför föreslås också ett byte av bränsle till ett ur miljösynpunkt bättre alternativ. Alternativen är främst biobränsle, exempelvis pellets, men även fjärrvärme är ett alternativ. Eftersom oljepannor är kopplade till vattenburna distributionssystem är övergången till andra typer av värmesystem där vattenburna distributionssystem används lämplig. Åtgärder för vattenburna värmesystem ges på sida 50-52. 1920-talet ger också information för besparingspotential för utbyte av cirkulationspump. Bergvärme eller fjärrvärme är bra alternativ vid konvertering i detta fall eftersom dessa också använder vattenburna radiatorsystem.

För resonemang om lämpliga åtgärder av belysning, se tidsepokerna 1910- och 1920-talet om tänkbara förslag om belysning på sida 62-63. Dessutom ges åtgärdsförslag för belysning på sida 52-55 där Exempel 2 på sida 53 visar möjlig besparingspotential i samband med utbyte från glödlampa till lågenergilampa och Exempel 3 på sida 55 ger besparingspotential vid tidsreglering för dessa respektive lamptyper.

## 7.6. 1960-talet

Klimatskärmens åtgärder presenteras i samband med 1970-talets åtgärdsförslag. För åtgärder i ventilationen, se sida 47-49. Att installera värmeväxlare för värmeåtervinning av frånluften är bland annat en åtgärd som kan spara in kostnader och energi som annars krävs för att förvärma tilluften. Exempel 1 beskriver möjlig energibesparing vid värmeåtervinning på sida 50.

Direktverkande elvärme samt oljepannor med centralvärme var de vanliga värmesystemen under denna epok. För åtgärder om vattenburna värmesystem se sida 50-52. Eventuella åtgärder för oljepannor beskrivs för åtgärder av värmesystemet under 1950-talsepoken på sida 66. För att minska elförbrukningen i samband med direktverkande elvärme skriver Energi och klimatrådgivningen att komplettering med luft/luft värmepump eller pelletsbrännare kan vara ett alternativ[82]. I övrigt skriver Energi och klimatrådgivningen att för att ersätta hela värmebehovet med andra energislag som exempelvis fjärrvärme, ved eller pellets

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 68 of 115   |  |

behövs det i första hand en installation av vattenburna värmesystem[82]. Vattenburna system kan installeras men ett annat billigare alternativ är att behålla elradiatorerna och för att slippa rördragningar och installera en eller flera fläktkonvektorer till det vattenburna systemet[82].

Åtgärder i belysningen är relevant för att minimera elbehovet men också för att minimera kylbehovet i kontorslokaler. Åtgärdsförslag för belysning på sida 52-55 där Exempel 2 på sida 53 visar den möjliga besparingspotentialen vid byte från glödlampa till lågenergilampa och Exempel 3 på sida 55 ger besparingspotential vid tidsreglering för dessa respektive lamptyper.

### 7.7. 1970-talet

För att effektivisera ventilationen bör fläktar ses över, specifikt fläktmotorer och värmeväxlare enligt de åtgärder som tidigare beskrivits för mekanisk ventilation och självdrag. Åtgärder för ventilation ges på sida 47-49 och Exempel 1 på sida 50 på visar möjlig energibesparing med värmeåtervinning. Enligt *Warfvinge* begränsas den maximala kyleffekten för en kylbaffel av risken för kondens och risk för kallras[2]. Därför ska framledningstemperaturen överskrida temperaturen för daggpunkten för att undvika utfällning av droppar från kylelement och rör. För ett välfungerande system är injustering av dess temperaturer därför nödvändig. Åtgärder för att minska kylbehovet är exempelvis att sätta upp effektiv solavskärmning. Att byta belysning kan också bidra till minskat kylbehov genom att välja effektivare armaturer där större del blir till ljus och mindre del av energin blir till värme.

I och med att ett vattenburet värmesystem används med elpannor, är det relativt enkelt att byta uppvärmningskälla då det finns ett flertal alternativ[103]. De mest rekommenderade är fjärrvärme, pellets eller någon typ av värmepump[103]. Som tidigare beskrivits för åtgärder av vattenburen värme är installation av radiatorventiler och termostater, kontroll eller byte av cirkulationspumpar och individuell mätning samt inomhusgivare och injustering relevant. Förslag på åtgärder för vattenburna distributionssystem ges på sida 50-52.

För förslag på åtgärder för belysning, se 1930-talets samt 1940-talets förslag. Dessutom ges Exempel 2 på besparing vid utbyte från glödlampa till lågenergilampa på sida 53 respektive Exempel 3 om besparing vid tidsstyrning av dessa två ljuskällor på sida 55.

### 7.8. Åtgärder klimatskärm 1950-1975

Här redogörs åtgärder för åtgärder gällande klimatskärm av flerbostadshusen mellan 1950 och 1975. Under denna period var det vanligt med endast 10 cm isolering i väggarna och klimatskärmen var oftast inte lufttät[104]. Vanliga köldbryggor under dessa år är indragna balkonger samt bjälklag och bärande väggar[104]. Idag är standardtjockleken på isolering i väggar 20 cm[104]. Att tilläggsisolera fasaden är kostsamt eftersom det innebär ett stort ingrepp på byggnaden. En tilläggsisolering skulle dock minska värmeförluster och köldbryggor, dessutom blir den gamla väggen torrare vilket motverkar fuktskador, enligt Energimyndigheten, Boverket och Naturvårdsverket[80]. Det är inte lönt att tilläggsisolera väggen om inte renovering av fasadskiktet behöver göras[80],[104]. Det är däremot oftast lönt att öka på isoleringen i takbjälklaget vilket är något som rekommenderas.

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 69 of 115   |  |

Taken var ofta plant utformade eller lågt lutande under den här tidsperioden. Flerbostadshus byggda på den här tiden har vanligtvis 15 cm isolering i takbjälklaget jämfört med nya byggnader idag då standarden är ca 40 cm[80]. Isoleringsmaterialet under 1950-1975 var av traditionell mineralull eller av omodernare typ än vad som finns tillgängligt idag, vilket även motiverar ett utbyte eller komplettering med ett annat material. Därför är möjliga åtgärder att tilläggsisolera vindsbjälklaget och att bygga om det plattare taket till lutande tak[80]. Ett plant tak gör ofta att tilläggsisolering är svårt att utföra och en ombyggnad till lutande tak underlättar därför utförandet av denna åtgärd. Ett lutande tak gör också att utrymmet som skapas på vinden kan utnyttjas samt att vattenavrinningen från taket blir bättre. Exempel 5 om tilläggsisolering av tak specificeras på sida 57. I kapitel 6.15 på sida 56 ges också siffror på besparingspotential vid tilläggsisolering med olika tjocklekar på befintlig och kompletterande isolering. Energibesparingen är beroende av bland annat geografisk placering. Under den här tidsepoken är fönstertyperna av den standard som finns idag, även om 2-glasfönster är vanligast. Besparingspotential för olika typer av fönsteråtgärder ges i kapitel 6.18 där Exempel 6 ges för byte av 2-glas fönster till andra mer energieffektiva fönster.

Grundkonstruktionen i flerbostadshusen byggda mellan 50-talet till 1975 var oftast källare. Dessa var oftast dåligt isolerade och en energibesparingsåtgärd som är aktuell enligt kampanjen Renovera Energismart skulle således vara att tilläggsisolera dessa utvändigt eller invändigt[80]. Utvändig isolering är att föredra ur fuktsynpunkt[80]. Vid utvändig isolering kan dräneringsskiva användas som ett isolerande och dränerande skikt på utsidan[80]. Vid tilläggsisolering av källaren kan en god energibesparing nås[80].

## 7.9. 1980-talet

På 1980-talet användes många av de system som uppfunnits tidigare. Därför hänvisas här bland annat till de tidigare epokers åtgärdsförslag samt till allmänna förslag om åtgärder för byggnader i kapitel 6. Väggtypen är mer tät tack vare plastfolien som användes under epoken. Att tilläggsisolera väggarna rekommenderas i samband med renovering. Taket kan tilläggsisoleras och en ungefärlig besparing för att tilläggsisolera taket ges i Exempel 5 på sida 57 i samband med åtgärdsförslag på klimatskärmen på sida 56-60.

För åtgärdsförslag för ventilation se sida 47 samt de tidigare epokenas åtgärdsförslag. Exempel 1 ger potential för energibesparing med värmeåtervinning på sida 50. I övrigt kan frånluftsvärmepumpen bytas ut om den är av äldre modell med på/av kompressor. Varianten med högre effekt och mer effektiv kompressor och med varvtalsreglering kan väljas för att minska energianvändningen.

Åtgärder för vattenburna distributionssystem ges på sida 50-52. Gällande belysning, se åtgärdsförslag för tidigare epoker samt Exempel 2 på sida 53 om besparing av utbyte från glödlampa till lågenergilampa samt Exempel 3 för tidsstyrning på sida 55 i avsnittet om åtgärder av belysning på sidorna 52-55.

## 7.10. 1990-talet

Möjligheten att tilläggsisolera taket är fortfarande en prioriterad åtgärd för klimatskärmen men standarden på denna är förmodligen på 1990-talet bättre i jämförelse med 1900-talets tidigare epoker. Tilläggsisolering

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 70 of 115   |  |

av ytterväggen är fortfarande så kostsam att det troligtvis inte är aktuellt att åtgärda denna del av byggnaden. Dessutom är materialen nyare, konstruktionen förmodligen tätare och bättre isolerad än tidigare och är därför inte aktuella att ersätta. Ett vanligt material som började användas som fasad är glas och det är populärt både i kontorsbyggnader och i bostadshus. Dessa fönsterytor gör således att värmeförlusterna ökar vintertid vilket ökar värmebehovet, men också att kylbehovet ökar sommartid i kontorslokalerna. Extra viktigt blir det då att välja energieffektivt glas för att minimera värmeförlusterna. Det är även lika viktigt att installera solavskärmning för att minska kylbehovet.

För åtgärder rörande komfortkyla och kylning med kylbafflar hänvisas läsaren till de föreslagna åtgärderna för 1970-talet på sida 67. Återgången till enklare ventilationssystem gör att åtgärdsförslagen är likartade som för tidigare epokers åtgärdsförslag. Se allmänna åtgärder för ventilation på sida 47-49 där bland annat Exempel 1 om besparingspotential med återvinning av frånluften ges på sida 50. Tidsstyrning och injustering är också av vikt för att få ett system anpassat för byggnaden och dess användning. Fläktarna bör ses över och förslagsvis vara av varvtalsstyrd typ med EC-motor. Frånluftsvärmepump kan användas som komplement för värme till uppvärmning och för tappvarmvatten vilket ofta används i kombination med elvärme. På så sätt kan andelen tillförd värme minskas. Frånluftsvärmepumpens effekt begränsas dock av den mängd energi som finns i frånluften och luftflödet. Se åtgärdsförslag för värmesystem på sidorna 50-52. För åtgärder av belysning, se tidigare föreslagna åtgärder och beräkningsexempel på sida 52-55.

## 7.11. 2000-talet

Väggkonstruktionerna är vid flerbostadsbygge i hög grad tillverkade i färdiga element med tapeter och invändig inredning [105]. El- och vattenledningar är något som installerats i förväg och kopplas också ihop när byggelementen sammanfogas [105]. I och med detta går byggskedet snabbt, ca 6 månader [105]. Glasfasader och entréer är idag vanligt förekommande och kännetecknar de två senaste årtiondenas byggnader. U-värden för glas har allmänt sett ett högre U-värde än de flesta andra byggmaterial, se Bilaga 8 där värmeledningstal för olika byggmaterial och bland annat glas presenteras. Fönster är därmed köldbryggor och är därför inte att rekommendera för en energieffektiv byggnad. Enligt en rapport av Blomsterberg om möjligheter för kontorsbyggnader med glasfasader i Norden, finns exempel på fall då värme tillförs med radiatorer för att motverka kallras, samtidigt som byggnaden tillförs kyla [106]. Detta kan vara ett problem som kan undvikas med val av andra fasadmateriäl än glas. Åtgärdsexempel som tas upp i Blombergs rapport för en byggnad med glasfasad är:

- Minskning av glasarean
- Dubbelskalsfasad av på vissa delar av fasaden (2-glas isolerruta med solskyddsglas + enkelglas)
- Kontroll av täthet runt glasytorna (regntätt och tryckutjämnande (yttersta skiktet) + luft- och diffusionstätning (invändigt), tätskikt i invändig metallplåt)
- Insättning av solskydd (solskyddsglas, solavskärmning (persienn eller dyligt)

Vad som ger störst inverkan på inomhusklimat och energianvändning är reducering av glasytan. Utformningen av byggnaden har stor påverkan och varje enskild kontorsbyggnad kräver därför noggrann projektering [106]. Vidare har dubbelskalsfasad liten inverkan i det nordiska klimatet enligt Blomberg[106]. Solavskärmning minskar kylbehovet men ökar energianvändningen för värme [106]. Med

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 71 of 115   |  |

dagens teknik går det inte att bygga en byggnad med glasfasad och samtidigt få en låg energianvändning[106]. Energibesparingen är oftast måttlig i en uppglasad kontorsbyggnad[106]. Idag finns många olika material att tillgå till klimatskärmen. Mineralull och nyare isolermaterial har låga värmeledningstal och ger således ett lågt U-värde. Idag kommer nya kiselmaterial som vakuumsförsluts med metallfilm till skivor och är 5-7 gånger bättre än mineralull. Dessa material är fortfarande under utveckling och är i dagsläget dyra. Det kan bli ett populärt material i framtiden. Idag byggs det med olika stommaterial, trästommen har bland annat blivit vanligare efter att det blev tillåtet stommaterial för flerbostadshus lägre än 5 våningar sedan 1987 [107]. Isolering av tak görs enligt dagens krav och därför är tilläggsisolering inte nödvändigt. Men idag finns också olika standarder, för exempelvis passivhus, är kraven högre för bland annat isolertjockleken, se krav för passivhus från FEBY framtagen inom Energimyndigheten [108] samt boverkets byggregler BBR 2012[20]. På så sätt är kraven idag eventuellt beroende på vilken standard byggnaden ska ha. Material som leder till en lägre värmetransport genom konstruktionen är en åtgärd som kan bli aktuell vid energieffektivisering av de hus som byggs idag. Kanske ökar också standarden på isolertjockleken framöver vilket kan bli en faktor som kräver optimering.

Olika ventilationssystem är vanligt och åtgärdsalternativen är många. Stor fokus ligger på reglering och styrning av flöden samt på värmeåtervinning Detta är också fallet för värmesystemen, där det förutom reglering och styrning också handlar om mer miljövänligt och förnyelsebara bränslealternativ.

För att effektivisera olika ventilation- och värmesystem samt belysning finns åtgärder beskrivna i samband med de allmänna åtgärderna i kapitel 6 där exempelberäkningar bland annat ges. Se också åtgärdsförslag för tidigare epoker. Exempelvis är injustering av system och effektivisering av komponenter lika viktigt, inte minst nu när energisparkraven ökar och klimat- och miljöfrågan har stort fokus.

Nya belysningskällor är under utveckling och i frammarsch för att ersätta äldre energislukande modeller. Exempelvis är LED-lysröret möjlig ersättare till de äldre bland annat T8-lysröret[109]. En jämförelse mellan T8-lysrör och LED-lysrör med avseende på energiförbrukning och kostnader ges i Tabell 14 på sida 54.

## 7.12. Prioritering av tidsepokenas åtgärder

Prioriteringen av åtgärder för tidsepokena visas i Tabell 16. Prioriteringen har gjorts efter bedömning av hur en byggnad från respektive epok skulle se ut idag om inget var gjort sedan tidigare. För äldre byggnader (1940-talet och tidigare) kan upprustning av byggnadskonstruktionen samt utbyte av material och byggnadsdelar vara ett första steg. Dock är detta förmodligen redan utfört idag vilket bör tas i åtanke vid åtgärdsförslagen. Vidare görs prioriteringen av åtgärder efter antagen lönsamhet och utifrån vad som uppskattas vara praktiskt möjligt vid ingreppets omfattning. Prioriteringen av åtgärdsförslag kan således ses som alternativ, men för att bekräfta lönsamheten i samband med energianalyser behövs ytterligare bedömningar och analyser av varje enskild byggnad.

### Prioritering av åtgärder 1910-1920-talen

I samband med en renovering kan valet göras att tilläggsisolera och införa en tätare klimatskärm. Detta är förmodligen relevant i ett hus från denna tid och tilläggsisolering av tak samt utbyte av fönster är därför

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 72 of 115   |  |

prioritet nummer ett. Detta innebär att ventilationssystemets funktionskrav ökar och byte från självdrag till mekanisk ventilation eller en upprustning av befintlig utrustning kan behöva göras, vilket bedöms ha en andra prioritet. Hålls klimatskärmen otät är självdragsventilation ett alternativ, och då måste värmesystemet väljas så att självdragsventilationen fungerar bra. En otät klimatskärm innebär att värmebehovet blir stort, vilket gör att både kostnad och energiförbrukning för värmeproduktion blir hög. Injustering av värmesystemet har prioritet nummer tre och åtgärder av belysning sista prioritet. Det bör betonas att åtgärder för belysning är en enkel och även också en billig åtgärd jämfört med åtgärder och ingrepp i exempelvis klimatskärm. Åtgärder för belysning anses dock här ha en mindre påverkan på den totala energianvändningen för en byggnad vilket återspeglas i prioritetsordningen.

### **Prioritering av åtgärder 1930-talet**

För 1930-talet leder åtgärder på klimatskärmen till störst energibesparing i jämförelse med andra åtgärder, vilken gör att dessa typer av åtgärder ges första prioritet. Åtgärder på klimatskärmen är dessutom den som möjliggör en minskning av värmebehovet för andra systemåtgärder, bland annat för ventilations- och uppvärmningssystem. Ju mindre värme som läcker ut genom klimatskärmen, desto mindre blir det dimensionerade värmebehovet. En minskning av det dimensionerade värmebehovet kan göras först efter inomhustemperaturen sänks, vilket ger injustering och åtgärder på värmesystemet andra prioritet. Ventilationsåtgärderna är något som också blir nödvändigt efter åtgärder på klimatskärmen och då är behovsstyrd ventilation med effektiva komponenter aktuellt och ses som tredje prioritet. Värmeåtervinning kan vara ett alternativ här, men detta kräver att klimatskärmen är tillräckligt tät. Detta prioriteras därför inte här, men det bör undersökas hur möjligheterna för värmeåtervinning ser ut. Belysningen kan göras energieffektiv med ljuskällor med lägre energiförbrukning men också genom att ha en effektiv styrning av belysningen. Åtgärden med belysning anses inte ha lika stor besparings effekt som de andra åtgärderna och får lägst prioritet. Dock ska det påpekas att åtgärder för belysning kan vara enklast och billigast att utföra, vilket faktiskt kan göra denna åtgärd primär.

### **Prioritering av åtgärder 1940-talet**

Åtgärderna är även här beroende av varandra och tilläggsisoleringen av taket är relevant och så även fönsterbyte. Detta skulle i sin tur kunna motivera injustering av värmesystemet, installation av termostatventiler och eventuellt en uppdatering av värmesystem. En injustering av värmesystemet kan leda till en energibesparing och storleken på denna besparing varierar bland annat på utformningen på byggnaden. Värmeåtervinning i ventilationen har potential till energibesparing, men detta beror på bland annat klimatskärmens utformning. Prioriteringen av dessa värme- och ventilationsåtgärder är därför svår att göra. Men i ett för FTX-aggregats optimala miljö, antas möjligheten att spara energi större än med injusteringen, därför får värmeåtervinning prioritet två och injusteringen prioritet tre. Det poängteras dock att injustering kan vara både enklare och billigare att utföra jämfört med installation av ett återvinningssystem. Energieffektiv belysning har sin besparingspotential och är relevant både kostnadsmässigt och energimässigt sett. Åtgärder inom belysning ges därför sista prioritet, dock kan denna åtgärd, som tidigare nämnts, sättas främst vid utföranden eftersom det är en enkel och billig åtgärd att utföra jämfört med de andra åtgärdsalternativen.

#### **EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 73 of 115   |  |

### **Prioritering av åtgärder mellan 1950- 1975**

Även här anses tilläggsisoleringen av tak samt utbyte av fönster kunna reducera värmebehovet med stor potential, vilket ger denna åtgärd första prioritet. Kostnaden för åtgärder är emellertid omfattande, vilket gör att viss tvekan kan uppkomma i skedet vid investering. Beroende på hur fort denna kostnad tjänas in kan detta vara en bra åtgärd både kostnadsmässigt och energimässigt sett. Tilläggsisolering av källaren kan ge god energibesparing men ingreppet kan vara mer komplicerat än de åtgärder som har högre prioritet. Byte till fläktar och fläktmotorer med högre verkningsgrad och effektiv styrning kan sänka energiförbrukningen och därmed också energikostnaderna. Värmeåtervinning i ventilationen kan även bidra till en lägre värmeförbrukning om åtgärder för en tät klimatskärm utförs. Om värmeåtervinning installeras och effektivare ventilationskomponenter väljs, kan detta leda till en energibesparing i form av värme och el. Åtgärden har en andra prioritering på grund av att andelen sparad energi kan antas vara större än injustering av värmesystemet. Utbyte av belysningen kan leda till en energibesparing i kombination med en effektiv reglering och styrning och ges prioritet fyra. Detta kan bidra till en lägre elförbrukning men också till viss del bidra till ett lägre kylbehov särskilt i kontorslokaler.

### **Prioritering av åtgärder 1980-talet**

Under denna epok är klimatskärmen av modernare och ofta energieffektivare material och ingripanden i klimatskärmen är inte lika relevant som för tidigare epoker. Då behovet av renovering förmodligen är lika stor som för äldre byggnader, är åtgärder i klimatskärmen aktuella först längre fram i tiden. Som första prioritet för byggnader från epoken är åtgärder i ventilationssystemet, tätt följt av uppdatering och injustering av värmesystemet och energieffektiv belysning. Förmodligen är den totala besparingen inte lika stor här som för byggnader från tidigare epoker, eftersom byggnadsstandarden har utvecklats och lett till en tätare klimatskärm. Värmeåtervinning är dock något som förmodligen kan vara ännu mer lönsamt med de mer täta och välisolerade klimatskärm som finns idag vilket innebär att detta kan utföras utan ingrepp i klimatskärmen.

### **Prioritering av åtgärder 1990-talet**

För denna epok är det komplicerat att prioritera alternativen av åtgärdsförslag. Eftersom de tekniska komponenterna är nyare och ofta mer energieffektiva, blir stor del av åtgärderna baserade på effektiv reglering av styrning för att minimera el- och energikostnader. Värmeåtervinning i ventilationen är dock en viktig faktor vid energibesparing och ges första prioritet tillsammans med effektiv styrning och reglering av moderna fläktar. Belysning och värmesystem antas vara modernt och relativt effektivt vilket gör att åtgärder för värmesystemet och belysning sätts som andra och tredje prioritet. Behovet av tilläggsisolering och fönsterbyte anses mindre idag jämfört med tidigare epoker då de också förmodligen är mer energieffektiva än tidigare och ges prioritet fyra. Solavskärmning blir under denna epok fram tills idag relevant på grund av de stora fönsterytor som blivit moderna. Solavskärmning är sista prioritet för denna tidsperiod och kan vara nödvändig för att minska kylbehovet framförallt under sommartid i kontor och andra lokaler där komfortkyla används.

### **Prioritering av åtgärder 2000-talet**

Modern teknik finns ofta installerad i nya byggnader idag och det antas därmed att effektiv utrustning finns tillgänglig och används, vilket är något som till viss del krävs utifrån Boverkets byggregler om exempelvis

#### **EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 74 of 115   |  |

energiushållning. Då modern teknik ofta finns är reglering och kontrollsystem en viktig del i åtgärdsförslagen. Lönsamheten av åtgärder av belysning, ventilation eller solavskärmning kan vara likartad, men en bedömning har ändå gjorts utifrån besparingspotentialen för de olika systemen. Varvtalsstyrda fläktar och värmeåtervinning utgör en stor besparingspotential vilket sätts som prioritet ett. Injustering av värmesystemet och installation av inomhusgivare kan också vara en lönsam åtgärd och ges prioritet två. Energieffektiv belysning och solavskärmning bidrar till lägre energianvändning, men energibesparingen anses mindre bland annat för att det förmodligen finns energieffektiv belysning vid nyinstallation. Besparingspotentialen beror på hur byggnadens system ser ut och därför varierar energibesparingen från fall till fall mellan byggnader. I Tabell 16 presenteras en sammanställning av åtgärderna som prioriteras för respektive epok.

Tabell 16: Prioritering av åtgärder för respektive tidsepok.

| Åtgärdsförslag:  | 1910-1920-talet | 1930-talet | 1940-talet | 1950-1970-talet | 1980-talet | 1990-talet | 2000-talet |
|--|-----------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Tilläggsisolering av tak, fönsterbyte  | 1               | 1          | 1          | 1               | 4          | 4          |            |
| Fläktförstärkt självdrag, injustering/utbyte av fläktar & fläktmotorer, styrning | 2               | 3          |            |                 |            |            |            |
| Uppdatering värmesystem, injustering, termostatventiler                          | 3               | 2          | 3          | 3               | 3          | 2          | 2          |
| Energieffektiv belysning & reglering   | 4               | 4          | 4          | 4               | 2          | 3          | 3          |
| Varvtalsstyrda fläktar, effektiva fläktmotorer, värmeåtervinning                 |                 |            | 2          | 2               | 1          | 1          | 1          |
| Solavskärmning   |                 |            |            |                 |            | 5          | 4          |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 75 of 115   |  |

## 8. Analys av befintlig byggnad

Syftet med denna analys är att stämma av och jämföra en befintlig byggnads system och åtgärder som utförts med de teoretiska resultat och analyser som gjorts. Bland annat ska det kontrolleras hur systemen i dagsläget ser ut för:

- Ventilation
- Belysning
- Klimatskärm (Tak, väggar, fönster, grund)
- Uppvärmning
- Kylning

Utöver detta ska, om möjligt utredas vilka åtgärder som gjorts och huruvida det har påverkat energiförbrukningen. Som grund till informationsinhämtningen ligger den kunskap som fastighetsskötaren Bo Granqvist har samt ett besök i den byggnaden som analyserades. Besöket innebar en rundgång i byggnadens undersökta lokaler med ledning av Bo Granqvist. Inför besöket hade en mall med underlag för informationsinhämtning tagits fram. Frågor har också dykt upp efter besöket och har därför ställts till Bo Granqvist i efterhand. Antaganden om byggnadens system har gjorts där osäkerhet finns men är även antagna av Bo själv eller någon annan av Bos kollegor.

### Byggnaden

Den undersökta byggnaden är en av ABB:s kontorsbyggnader, som heter Nore, och ligger i Västerås. Denna byggdes år 1945. En del av byggnaden har undersökts och det är dess två översta våningar (D- och E-våningen). Arean är 1 385 m<sup>2</sup> på D-våningen respektive 1 241 m<sup>2</sup> på takvåningen (E-våningen) som är tillbyggd i efterhand. Byggnaden visas i Figur 26. Byggnadens system redovisas i Bilaga 6. Mallen som använts vid undersökningen återfinns i Bilaga 7.



Figur 26: Bild tagen utifrån på den undersökta byggnaden Nore (långsidan hitåt) [110].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 76 of 115   |  |

## Renoveringar och ändringar av system

- 1995-2001 gjordes kontorslandskap. Innan var det enskilda kontorsrum närmast långsidorna i kontorslokalen. Fönsterbyte utfördes.
- Tidigt 90-tal kompletterades det dåvarande till- och frånluftssystemet (FT-systemet) med värmeåtervinning.
- 1995 installerades fjärrkyla
- Omkring 1995 ersattes konventionella lysrör på 36 W med 28 W T5-lysror och glödlampor ersattes med lågenergilampor
- Början på 90-talet ersattes oljeuppvärmning med fjärrvärme
- 1997 lades nytt ytskikt på tak så kallat Derbigum

## Avstämning mot road map

Utifrån inhämtad information har den road map som gjorts i Bilaga 3 stämts av med hjälp av denna analys av en befintlig byggnad och likheter och skillnader tas nu upp här.

Vad gäller klimatskärmen, är den på D-våningen enligt den konstruktion som redovisas i road map för 40-talsepoken; med tegelstomme samt med mindre andel (10 cm) isolering. E-våningen är byggd enligt antagande av Bo runt 1950-1960-talet. E-våningen har nyare material i jämförelse med 40-talets standard: gipsskivor samt Rock Wool. Enligt tidsaxeln som gjorts, introducerades gipsskivor och mineralull på 1950-talet vilket stämmer överens med byggnaden. Taket är i stort sett platt med ytskikt i form av Derbigum som lagts över den gamla ytlagspappen och är tätare och mer tåligt. Derbigum är ett modernt material och det har också lagts på i slutet av 90-talet. Isoleringen i taket är slaggyllning dels av rester från byggnadsmaterial så som spån och betonggranulat. Även detta stämmer med tidsaxelns beskrivning av takkonstruktionen. Grunden är källare som till en början var skyddsrum. Skyddsrummet byggdes på 40-talet som behölls i sitt skick fram till år 1945. Då lades betong runt om och konstruktionen som byggnadsgrund och källare skapades.

Fönstren i byggnaden var från början 1+1-glas vilka byttes mellan 1995 och 2001 till 3-glas isolerfönster. Solavskärmning i form av persienner finns sedan fönsterbytet. Detta stämmer till viss del med tidsaxeln. 2-glasfönster hade förväntats användas på 1940-talet. Bytet till 3-glasfönster med isolerglas stämmer dock överens med den standard som var vanlig då bytet gjordes.

Ventilationen är sedan 1993 FTX-system vilket också bekräftar tidsaxeln som gjorts, i och med att återvinning är vanlig sedan 1970-talet. Belysningen byttes mot mer energieffektiv 1995. Detta var förmodligen aktuellt i samband med de andra åtgärder som utfördes under samma period. Både T5-rören samt lågenergilamporna var tillgängliga 1995.

Siffror på energianvändning och elanvändning har inte funnits tillgängligt dels på grund av att det inte finns enskild mätning på energianvändningen i byggnaden, det har inte heller funnits fakturor och energiförbrukningsdata från fastighetsägaren tillgängligt. På grund av detta, analyseras härmed hur energianvändningen kan ha påverkats av de ändringar och åtgärder som gjorts efter renoveringstillfällena. Fönsterbytet har förmodligen lett till att ventilationen behövs injusterats eftersom självdraget som skapas

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 77 of 115   |  |

genom de otätheter som funnits, bidragit till viss del till ventilationens funktion. Fönsterbytet kan även ha lett till att värmebehovet har minskat dels till följd av att U-värdet på fönstren har sänkts vilket minskar köldbryggan, samt på grund av att tätheten förmodligen blivit bättre. En möjlighet att sänka inomhustemperaturen kan därför ha funnits. Om inomhustemperaturen sänkts kan värmeförbrukningen förmodligen ha minskat som följd. Bo Granqvist tror att systemet förmodligen injusterades efter fönsteråtgärden.

Övergången från FT- till FTX-system är rimlig dels på grund av de krav som kom på värmeåtervinning i bland annat kontorslokaler efter 1975 respektive efter ökade krav år 2011. Installation av värmeåtervinning skedde dock inte i direkt anslutning till kravet som kom för värmeåtervinning specificerad i BBR 1975. Värmeåtervinning som installerades har förmodligen även det gjort att värmeanvändningen minskat. Det är konstantflödessystem, CAV-flöde, på de två undersökta våningarna. På lägre våningar i Nore är flödet varierat, VAV. Att flödena är inställda på detta vis är enligt Bo Granqvist på grund av höjdskillnaden.

Belysningen byttes mot mer energieffektiv 1995. Detta var aktuellt i samband med de andra åtgärder som utfördes under samma period. Både T5-rören samt lågenergilamporna var tillgängliga 1995. De framkom på marknaden under 90-talet, vilket gjorde att även effektivisering av belysningen möjliggjordes. Energianvändningen har antagligen minskat efter att energieffektivare belysning installerats. Belysning och ventilation är tidsstyrd efter lokalernas uppskattade utnyttjande, vilket innebär att energianvändningen begränsas istället för att vara igång konstant. Manuell styrning finns, vilket gör att människor har makten att påverka drifttiden, vilket också kan påverka energianvändningen. Belysningens placering är både systematiskt placerad samt godtyckligt belägen för lysrörsarmaturen. Placeringen skulle därför kunna ses över och optimeras, för att få belysningen där det behövs och minimera den där det inte finns lika stort behov.

Värmesystemet var till en början, enligt antaganden av fastighetsskötaren, olja. I början av 90-talet ersattes denna med fjärrvärme. Förmodligen minskades kostnader för värmesystemet i eftersom fjärrvärmen är ett billigare alternativ som inte innebär kostnader för bland annat underhåll. Fjärrkyla installerades år 1995. Detta var 2 år efter värmeåtervinningen installerades samt i samband med fönsterbytet.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 78 of 115   |  |

## 9. Diskussion och slutsatser

Syftet med arbetet var att skapa ett underlag att utgå ifrån vid planering av energianalyser av flerbostadshus och kontorslokaler utifrån ålder på byggnaderna och befintliga system. Den road map som gjorts ger en bra översikt över byggnadernas system från olika tidsperioder. Kraven har också i korthet beskrivits utifrån Boverkets byggregler och utveckling vilket visar att kraven på energianvändning i byggnadens system och konstruktion har ökat med tiden. Hur tekniken påverkar energianvändningen ger en bra insikt i hur olika systemkomponenter och delar fungerar under olika förutsättningar vilket sammanfattas i bland annat överskådliga tabeller vilket gör informationen lättanvänd. Åtgärdsförslagen för olika system redovisas och beräkningsexempel har getts för några av förslagen. Prioritering av åtgärder för olika tidsperioder görs sedan för att kunna slå upp aktuella åtgärder. Analysen av den befintliga byggnaden kunde stämmas av till viss del med den road map som gjorts samt med de åtgärdsförslag som getts. Avstämningen kunde göras för vissa perioder: 1950-2000-talet. De åtgärder som gjorts på byggnaden stämde med belysningsåtgärder samt ventilationsåtgärder.

Byggnadstekniken har utvecklats under de senaste 100 åren. Klimatskärmens konstruktion har förändrats med tiden där utvecklingen har gått från homogena konstruktioner till kombinationsväggar med olika material med specifik funktion. Med klimatskärmens utveckling har energiförluster kunnat minska. Samtidigt som material och konstruktion har blivit energieffektivare, har andelen eldrivna komponenter ökat i samband med mekanisk ventilation, elberoende uppvärmningskällor och reglersystem. Frågan är hur en förbättring i klimatskärmens konstruktion och en ökning av eldrivna komponenter och system påverkar den totala energiförbrukningen i en byggnad?

Flerbostadshusen från miljonprogrammet är många och likartade och utgör en stor besparingspotential energimässigt sett för Sverige och är aktuella att åtgärda i nuläget. Med moderna material och med de krav som finns idag blir klimatskärmen tät och välisolerad. Möjligheten till ett effektivt ventilationssystem med värmeåtervinning finns också för dessa hus. I ett större sammanhang kan modern teknik med energieffektiva komponenter och lösningar innebära att energianvändningen nationellt sett kan minska.

Besparingspotentialen för klimatskärmen är stor, men ingrepp i bland annat väggar är ett kostsamt ingrepp som ofta prioriteras bort om inte renovering ändå är aktuell. Tilläggsisolering av takbjälklaget är ofta lönsam och relativt enkel att utföra. Utifrån redovisat exempel i avsnitt 6.16 blir återbetalningstiden högst ca 2 år vilket gör åtgärden motiverbar. Fönsterbyten är kostsamma men fönster utgör samtidigt en köldbrygga som leder till stora energiförluster. En avvägning mellan ekonomiska medel och energibesparing är därför nödvändig. Stora fönsterytor och glasfasader är något som har blivit ett problem både under uppvärmningssäsong och under sommarhalvåret genom ökat värmebehov respektive kylbehov i framförallt kontorslokaler. Att åtgärda dessa glasytor och samtidigt få en betydande energibesparing är svårt både praktiskt och ekonomiskt sett.

Besparingspotentialer för ventilation handlar om effektivare komponenter som drar mindre el som exempelvis fläktar. Kostnaden för att ersätta gamla komponenter med nya är oftast motiverbar om skicket

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 79 of 115   |  |

på den gamla tekniken kräver utbyte. Skovelutformningen och regleringen av fläktar har inverkan på hur effektiv fläktdriften blir, i övrigt påverkar utformningen på ventilationssystemet vilken fläkttyp som fungerar optimalt. Uppvärmning av tilluft är en energikrävande process och därför är värmeåtervinning av frånluften en viktig del i besparingspotentialen av värmeenergi. Hur stor besparingen blir vid värmeåtervinning beror av bland annat verkningsgraden på värmeväxlaren samt klimatskärmens täthet. Värmeåtervinning i ventilationsystemen är en åtgärd som är lönsam energimässigt sett i nyare hus, från senare delen av 1900-talet fram tills idag. Äldre hus är ofta så otäta vilket gör att funktionen inte blir optimal med värmeåtervinning.

Åtgärder för värmesystem innebär injustering och installation av termostatventiler. Injustering är en relativt enkel åtgärd och billig åtgärd och med en sänkt inomhustemperatur på en grad kan energianvändningen minska med ca 5 % enligt Energimyndigheten. Konvertering av värmekälla är också ett alternativ som kan påverka kostnader och energiförbrukning men också miljö och klimat. Olika uppvärmningsalternativ har jämförts både ur energisynpunkt och med hjälp av exergibegreppet. En hög verkningsgrad betyder nödvändigtvis inte att ett uppvärmningsalternativ är det bästa ur energisynpunkt. Med begreppet exergi ser man hur effektivt kvalitativ och lågkvalitativ energi används för produktion av värme. Elvärme är en värmekälla som kan diskuteras huruvida det är slöseri på energi av hög kvalitet för att skapa lågkvalitativ värme. El kan komma från olika källor, kärnkraft, kraftvärmeverk men också från vindkraftverk. Med denna aspekt på elektricitetens ursprung kan man också diskutera energianvändningen i ett större perspektiv. Hur skapar vi vår energi och hur använder vi den? Kanske ska elektricitet användas för applikationer som endast el kan användas till, exempelvis elmotorer, belysning och datorer. Istället för att användas till produktion av lågkvalitativ värme, som kan skapas med annan typ av energi, där inte lika stor del exergi förloras.

Vad gäller belysning, kan energieffektiva ljuskällor hittas idag och ersätta de flesta äldre relativt ineffektiva belysningsmodeller, framför allt glödlampan. Utbyte av belysning från exempelvis glödlampa till lågenergilampa är något som är enkelt att utföra och har relativt låg kostnad. En energieffektiv belysning bidrar även till mindre intern värmegenerering, vilket gör att kylbehovet minskar i bland annat kontorslokaler där andelen belysningsinstallationer är stor.

Hissar har besparingspotential, men detta är något som också görs i samband med ombyggnation eller upprustning.

Med de regler- och styrsystem som finns idag, kan energianvändningen styras efter behov och göras både tids- och närvarostyrt. Effektiv reglering och styrning är något som är aktuellt för alla tidsepokers byggnader. Det kan därför ses som ett av de viktigaste åtgärdsförslagen för en minskad energianvändning. Med de moderna och energieffektiva teknikkomponenter som finns idag är reglering och styrning en möjlighet att ytterligare minska energianvändningen. Vad teknikutvecklingen har att erbjuda i framtiden återstår att se. Men med energieffektiva komponenter och smarta kontrollsystem är en låg energianvändning i byggnader och fastigheter möjlig. Med de krav som finns på energianvändning och byggnader idag blir också energiåtgärder en nödvändighet vilket också gynnar arbetet med att genomföra förändringar som leder till minskad energianvändning.

#### **EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 80 of 115   |  |

## 10. Referenser

- [1] Energimyndigheten, "Lokaler och flerbostadshus," Energimyndigheten, 2 4 2013. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Foretag/Energieffektivt-byggande/Lokaler-och-flerbostadshus/>. [Accessed 30 5 2013].
- [2] C. Warfvinge, Installationsteknik AK för V, Lund: Catarina Warfvinge och Studentlitteratur, 2007.
- [3] S. A. Berg, Byggteknik , Byt 1 b Energieffektivisering, Stockholm: Lärnö AB, 2008.
- [4] Swedisol, "Beräkning av U-värde enligt standard," [Online]. Available: [http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf\\_bilaga\\_A.pdf](http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf_bilaga_A.pdf). [Accessed 30 5 2013].
- [5] SABO, "SABO," 24 11 2009. [Online]. Available: [http://www.sabo.se/aktuellt/nyheter\\_s/2009/nov/Sidor/EUdirektiv\\_energiprestanda.aspx](http://www.sabo.se/aktuellt/nyheter_s/2009/nov/Sidor/EUdirektiv_energiprestanda.aspx). [Accessed 3 6 2013].
- [6] Svanen, "Svanen: Moderna hus," [Online]. Available: <http://www.svanen.se/konsument/varor/Product/?productID=34102001>. [Accessed 31 5 2013].
- [7] "Självdagsventilation," Mitt bygge, [Online]. Available: <http://www.mittbygge.se/Ide-och-planering/Valja-ventilation/Sjalvdrag/>. [Accessed 20 8 2013].
- [8] Energimyndigheten, "Varmvatten och ventilation: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 28 3 2011. [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/Sjalvdragsventilation/>. [Accessed 3 4 2013].
- [9] M. I. W. H. Hjertén R, Som man bygger får man ventilera, Stockholm: Arkus, 1996.
- [10] V. Reuterhäll, "Ombyggnad av självdag till FTX-system i flerbostadshus," Lunds universitet, Lund, 2009.
- [11] "Frånluftventilation," Mitt bygge, [Online]. Available: <http://www.mittbygge.se/Ide-och-planering/Valja-ventilation/Flaktstyrd-franluft/>. [Accessed 20 8 2013].
- [12] Energimyndigheten, "Från- och tilluftventilation med återvinning (FTX-system)," Energimyndigheten, 8 6 2011. [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/FTX-system/>. [Accessed 9 4 2013].



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 81 of 115   |  |

- [13] "Balanserad ventilation," Mitt bygge, [Online]. Available: <http://www.mittbygge.se/Ide-och-planering/Valja-ventilation/Balanserad-ventilation/>. [Accessed 20 8 2013].
- [14] M. Soleimani- Mohseni, Writer, *Föreläsning: Ventilation*. [Performance]. Umeå universitet.
- [15] M. Systemair: Sandor and C. Nyqvist, "Byggteknik och installationsteknik," Systemair, Högskolan Halmstad, [Online]. Available: [http://www2.hh.se/staff/goni/bygg/Kurser/Byggfysik-Installationsteknik-I/Teori\\_flaktar\\_sytstemair](http://www2.hh.se/staff/goni/bygg/Kurser/Byggfysik-Installationsteknik-I/Teori_flaktar_sytstemair). [Accessed 22 3 2013].
- [16] Fläkt Woods, "Teknisk handbok, luftbehandlingsteknologi," Fläkt Woods, 2009. [Online]. Available: <http://www.swerea.se/DocumentsEnig/Teknisk%20Handbok%20FI%C3%A4kt%20Woods.pdf>. [Accessed 13 3 2013].
- [17] Jernkontorets Energihandbok, "Radialfläkt," Jernkontorets Energihandbok, 11 10 2007. [Online]. Available: <http://energihandbok.se/x/a/i/10120/Radialflakt.html>. [Accessed 13 03 2013].
- [18] E. Abel and A. Elmroth, *Byggnaden som system*, Stockholm: Forskningsrådet Formas, 2006.
- [19] "Radialfläkt," ebmpapst, [Online]. Available: <http://www.ebmpapst.se/sv/produkter/Radialfl%C3%A4ktar/Enkelsugande-radialfl%C3%A4ktar-med-k%C3%A5pa/G2E180-EH03-01>. [Accessed 20 8 2013].
- [20] Boverket, "Regelsamling för byggande, BBR 2012," Boverket, 2011.
- [21] Fastighetsägarna Energiakademi, "Byte av fläktmotorer," Fastighetsägarna Energiakademi, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/byte\\_av\\_flaktmotorer](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/byte_av_flaktmotorer). [Accessed 13 3 2013].
- [22] Fastighetsägarnas Energiakademi, "Byte av fläktmotorer," Fastighetsägarnas Energiakademi, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/byte\\_av\\_flaktmotorer](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/byte_av_flaktmotorer). [Accessed 13 3 2013].
- [23] Svensk ventilation, "Värmeväxlare: Svensk ventilation," Svensk ventilation, [Online]. Available: <http://www.svenskventilation.se/index.php3?use=publisher&id=1379>. [Accessed 22 3 2013].
- [24] S.-M. M. A. M. Jardeby Å, "Distribution av kyla och värme i bostäder och lokaler," SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2009.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 82 of 115   |  |

- [25] Fläktwoods, "Behovsstyrd ventilation," [Online]. Available: <http://www.flaktwoods.se/0/0/2/882c8275-06f8-4038-9083-df925cd52c0f>. [Accessed 23 8 2013].
- [26] Energimyndigheten, "Fjärrvärme: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 18 4 2011. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Fjarrvarme/>. [Accessed 27 3 2013].
- [27] Energimyndigheten, "Elvärme: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 25 4 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Elvarme/>. [Accessed 27 3 2013].
- [28] Energi och klimatrådgivningen, "Faktablad: Olja i villan," mars 2013. [Online]. Available: [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad\\_Olja%20i%20villan%20KL\\_korr.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad_Olja%20i%20villan%20KL_korr.pdf). [Accessed 29 5 2013].
- [29] mixtum, "värmepumpar," [Online]. Available: <http://www.mixtum.se/energi/varmepumpar.htm>. [Accessed 13 6 2013].
- [30] Vattenfall, "Lågenergilampor: Vattenfall," Vattenfall, 6 3 2013. [Online]. Available: <http://www.vattenfall.se/sv/lagenergilampor.htm>. [Accessed 28 3 2013].
- [31] Europeiska kommissionen, "Energi, Energisnåla lampor: Europeiska kommissionen," Europeiska kommissionen, [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/howtochoose/packaging/packaging\\_sv.htm](http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/howtochoose/packaging/packaging_sv.htm). [Accessed 28 3 2013].
- [32] Energimyndigheten, "Lysrör: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 30 3 2012. [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/Energieffektivt-byggande/Belysning---ny/Ljuskallor/Urladdningslampor/Lysror/>. [Accessed 11 4 2013].
- [33] Fastighetsägarna Stockholm, "Fakta Teknik: Energieffektiv belysning," oktober 2008. [Online]. [Accessed 30 5 2013].
- [34] Elbutik, "Bild cirkelformat lysrör," Elbutik, [Online]. Available: [http://www.elbutik.se/PICTURE/154805-4-548220\\_image1.jpg](http://www.elbutik.se/PICTURE/154805-4-548220_image1.jpg). [Accessed 17 4 2013].
- [35] "Köldbryggor," Rockwool, [Online]. Available: <http://www.rockwool.se/inspiration/svenska+referensobjekt/passivhus+pumpk%C3%A4llehagen/v%C3%A4rt+att+veta+om+passivhus/k%C3%B6ldbryggor>. [Accessed 20 8 2013].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 83 of 115   |  |

- [36] Nordisk termografi konsult, "Vad är termografering?," [Online]. Available: <http://www.ntk.nu/index-2.html>. [Accessed 23 8 2013].
- [37] Energimyndigheten, "Energieffektiva hissar och rulltrappor," December 2005. [Online]. Available: [http://213.115.22.116/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/15eadc8b69ff4d35abe2f465872e7e9e/ET2005\\_32.pdf](http://213.115.22.116/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/15eadc8b69ff4d35abe2f465872e7e9e/ET2005_32.pdf). [Accessed 7 5 2013].
- [38] Statens fastighetsverk, "Ventilationshistoria," Statens fastighetsverk, [Online]. Available: [http://www.sfv.se/cms/sfv/aktuellt/projekt/ventilation\\_i\\_aldre\\_byggnader/allmanna\\_kapitel/ventilationshistoria.html](http://www.sfv.se/cms/sfv/aktuellt/projekt/ventilation_i_aldre_byggnader/allmanna_kapitel/ventilationshistoria.html). [Accessed 15 3 2013].
- [39] P. Lidgren Persson, *Bygg fuksäkra takkonstruktioner*, Skanska Sverige AB, 2010.
- [40] S. Berg A, *Byt 6, Byggnadshistoria med ROT och murverk*, Stockholm: Lärnö AB, 2007.
- [41] "Värmeinstallationer: Om vattenvärmsystem i befintliga byggnader," Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, 13 1 2010. [Online]. Available: <http://www.sbuf.se/ProjectArea/Documents/ProjectDocuments/39DE7AA8-6CBB-41DB-999A-6A66B1759631/FinalReport/SBUF%2011781%20Slutrapport%20Installationsarbete%20i%20värmsystem.pdf>. [Accessed 23 4 2013].
- [42] Energimyndigheten, "Att tilläggsisolera hus - fakta, fördelar och fallgropar," 2005-2008. [Online]. Available: <http://www.varnamo.se/download/18.6a7021051293182e2b8800030258/1294839476165/till%C3%A4ggsisolerahus.pdf>. [Accessed 30 5 2013].
- [43] C. Larsson and H. Sjöstedt, "Effektivitetsmått för byggnader - En modell för effektivitetsmätning applicerad på ytterväggar i flerbostadshus," KFS AB, Lund, 2010.
- [44] fonda menta, "Fönster: Teknisk information," fonda menta, [Online]. Available: <http://www.fondamenta.se/rad-tips/fonster>. [Accessed 30 5 2013].
- [45] BOLIST, "Råspont: BOLIST," BOLIST, 2013. [Online]. Available: <http://råspont.se/>. [Accessed 3 4 2013].
- [46] E. Wetterblad, "Bärande betongkonstruktioner i miljonprogrammets flerbostadshus," ISSN: 1103-4297, 2009.
- [47] Träguiden, "Utfackningsväggar," [Online]. Available: <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1346>. [Accessed 11 6 2013].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 84 of 115   |  |

- [48] SLS VÄGG & TAK AB, "Utfackningsväggar: SLS VÄGG OCH TAK AB," 2012. [Online]. Available: [http://www.slsvagg-tak.se/wp-content/uploads/2012/01/IMG\\_2629.jpg](http://www.slsvagg-tak.se/wp-content/uploads/2012/01/IMG_2629.jpg). [Accessed 27 3 2013].
- [49] VVS Företagen och Svensk Ventilation, *Renovering pågår*, VVS Företagen och Svensk Ventilation, 2008.
- [50] Svensk fjärrvärme, "Fjärrvärme - A Real Success Story," 14 4 2009. [Online]. Available: [http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%c3%a4rrsyn/Ovriga\\_rapporter/Fjarrvarmens\\_historia/Fj%c3%a4rrv%c3%a4rme\\_story.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%c3%a4rrsyn/Ovriga_rapporter/Fjarrvarmens_historia/Fj%c3%a4rrv%c3%a4rme_story.pdf). [Accessed 2013].
- [51] "glasfasader," Ryds glas, [Online]. Available: <http://www.rydsglas.se/glasmasteri/fasad>. [Accessed 20 8 2013].
- [52] M. Edfeldt and E. Elsmén, "Hybridventilation i flerbostadshus," Lunds tekniska högskola, Lund, 2007.
- [53] Energimyndigheten, "Utfasningen av glödlampan," Energimyndigheten, 13 9 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Hembelysning/Utfasningen-av-glodlampan/>. [Accessed 29 5 2013].
- [54] Energimyndigheten, "Belysning: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 3 9 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Hembelysning/Utfasningen-av-glodlampan/>. [Accessed 29 3 2013].
- [55] ebmpapst, "EC - lågenergifläktar för ventilation," ebmpapst, [Online]. Available: [http://www.ebmpapst.se/sv/dat/media\\_manager/news/143/news-files/EC-Lagenergiflaktar-for-ventilation.pdf](http://www.ebmpapst.se/sv/dat/media_manager/news/143/news-files/EC-Lagenergiflaktar-for-ventilation.pdf). [Accessed 25 3 2013].
- [56] Energimyndigheten, "Bra att veta om frånluftsfläktar: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 02 2 2010. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Franluftsflaktar-for-hus-med-omkring-190m/?tab=3>. [Accessed 15 3 2013].
- [57] Energihandboken, "Tabell över värmevärde och densitet för några vanliga bränslen: Energihandboken," Energihandboken, 29 10 2007. [Online]. Available: <http://energihandbok.se/x/a/i/10127/Tabell-over-varmevarde-och-densitet-for-nagra-vanliga-branslen.html>. [Accessed 10 4 2013].
- [58] GDE-Net Energikontoret/Energy agency, Gävleborg/Dalarna, "Publikationer: Gävle Dala Energikontor," Gävle Dala Energikontor, 2 2006. [Online]. Available: <http://www.gde->

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 85 of 115   |  |

kontor.se/files/1/87/88/YpUoO6VSha5asSMBEyljeyLqso8RcWhH.pdf. [Accessed 26 3 2013].

- [59] Bengt- Erik Löfgren, Äfab, "ÄFAB, Bioenergikonsulterna," [Online]. Available: [http://www.afabinfo.com/pdf\\_doc/artiklar/VedpannorModeller.pdf](http://www.afabinfo.com/pdf_doc/artiklar/VedpannorModeller.pdf). [Accessed 31 5 2013].
- [60] Energimyndigheten, "Din uppvärmning, Olja: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 25 4 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Olja/>. [Accessed 7 4 2013].
- [61] Energimyndigheten, "Pellets och briketter: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 7 6 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Biobransle---ved-och-pellets/Pellets/>. [Accessed 10 4 2013].
- [62] G. Wall, "Diva portal," [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:318568/FULLTEXT01.pdf>. [Accessed 21 8 2013].
- [63] HUS.SE, "oljepanna: HUS.SE," HUS.SE, [Online]. Available: <http://www.hus.se/artiklar/oljepanna/>. [Accessed 27 3 2013].
- [64] Vattenfall, "Energi till nytta och nöje: Vattenfall," Vattenfall, 4 2013. [Online]. Available: [http://www.vattenfall.se/sv/file/Energi-till-nytta-och-n\\_je-2013\\_27337949.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/Energi-till-nytta-och-n_je-2013_27337949.pdf). [Accessed 11 4 2013].
- [65] IKEA, *LED, En helt ny typ av lampa*, Inter IKEA Systems, 2011.
- [66] Energimyndigheten, "Belysning: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 13 9 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Hembelysning/Alternativ-till-glodlampan/>. [Accessed 31 3 2013].
- [67] PROTON lighting, "lysrör," PROTON lighting, [Online]. Available: <http://www.proton.se/sv-SE/Proton-Lighting/guider/Teknisk-info/Lysror/>. [Accessed 16 5 2013].
- [68] S. A. Berg, *Energieffektivisering och förnyelsebar energi*, Arboga: Lärnö AB, 2012.
- [69] Swedisol, "Bilaga A. Beräkning av U-värde enligt standard," Swedisol, [Online]. Available: [http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf\\_bilaga\\_A.pdf](http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf_bilaga_A.pdf). [Accessed 28 3 2013].
- [70] Sölvesborgs kommun, "Effektivare fönster: Sölvesborgs kommun," Sölvesborgs kommun, 14 3 2012. [Online]. Available: <http://www.solvesborg.se/9911>. [Accessed 12 4 2013].

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 86 of 115   |  |

- [71] Energimyndigheten, "Fönster: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 2007. [Online]. Available: [http://213.115.22.116/System/ViewResource.aspx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/de174af191e24503be65880fcfee46c1/ET2007\\_61W.pdf](http://213.115.22.116/System/ViewResource.aspx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/de174af191e24503be65880fcfee46c1/ET2007_61W.pdf). [Accessed 12 4 2013].
- [72] Y. A. Cengel, HEAT AND MASS TRANSFER, A Practical Approach, Singapore: McGraw-Hill, 2006.
- [73] Fastighetsägarna Energiakademien, "Effektivisera frånluftssystem," Fastighetsägarna Energiakademien, 2010. [Online]. Available: <http://energiakademien.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/effektivisera-franluftssystem>. [Accessed 22 4 2013].
- [74] Energimyndigheten, "Krav på fläktar," Februari 2006. [Online]. Available: [http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/e28cd5fa9c344dedb657fce03f40c6e7/ET2006\\_09W.pdf](http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/e28cd5fa9c344dedb657fce03f40c6e7/ET2006_09W.pdf). [Accessed 3 5 2013].
- [75] Energi och klimatrådgivningen, "Faktablad frånluftsvärmepump: Energi och klimatrådgivningen," Energi och klimatrådgivningen, 1 2013. [Online]. Available: [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad\\_Fr%C3%A5nluftsv%C3%A4rmepump\\_130107.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad_Fr%C3%A5nluftsv%C3%A4rmepump_130107.pdf). [Accessed 19 4 2013].
- [76] Energimyndigheten, "Frånluftsvärmepumpar 2012," Energimyndigheten, 27 12 2012. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Franluftsvarmepumpar-2012/?tab=3>. [Accessed 20 5 2013].
- [77] VVS-företagen, "Ventilationsanläggning med värmeåtervinning, FTX," [Online]. Available: <http://www.vvsforetagen.se/?use=document&cmd=download&slug=ventilationsanlaggning-med-varmeatervinning-ftx>. [Accessed 3 5 2013].
- [78] Fastighetsägarna, Energiakademien, "Injustering och reglering av vattenburen värme," Fastighetsägarna, Energiakademien, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademien.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/injustering\\_av\\_vattenburen\\_varme](http://energiakademien.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/injustering_av_vattenburen_varme). [Accessed 23 4 2013].
- [79] G. Allmér and B. Chen, "Renovering av flerbostadshus- en studie om energieffektivisering och lönsamhet," KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2012.
- [80] Energimyndigheten, Boverket, Naturvårdsverket, "Renovera Energismart," 2011. [Online]. Available: <http://www.renoveraenergismart.se/wp-content/uploads/2010/10/RE-kompendium->

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 87 of 115   |  |

mars-2011.pdf.

- [81] Metro therm, "Villa smart, framtidens fjärrvärmecentral," [Online]. Available: [http://metrotherm.se/pdf/primex\\_villasmart.pdf](http://metrotherm.se/pdf/primex_villasmart.pdf). [Accessed 12 6 2013].
- [82] Energi och klimatrådgivningen, "Faktablad: Direktverkande el," Januari 2013. [Online]. Available: [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad\\_Elv%C3%A4rme\\_130108.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad_Elv%C3%A4rme_130108.pdf). [Accessed 25 4 2013].
- [83] Boverket, "Individuell mätning och debitering i flerbostadshus," Oktober 2008. [Online]. Available: [http://www.boverket.se/global/webbokhandel/dokument/2008/individuell\\_matning.pdf](http://www.boverket.se/global/webbokhandel/dokument/2008/individuell_matning.pdf). [Accessed 6 5 2013].
- [84] Energimyndigheten, "Cirkulationspumpar för flerbostadshus," Energimyndigheten, 24 11 2010. [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Cirkulationspumpar-for-flerbostadshus/?tab=3>. [Accessed 3 5 2013].
- [85] Helsingfors Energi, "Hemmets lampguide," Helsingin Energia (Helsingfors Energi), [Online]. Available: [http://www.helen.fi/pdf/Hemmets\\_lampguide\\_helen.pdf](http://www.helen.fi/pdf/Hemmets_lampguide_helen.pdf). [Accessed 15 4 2013].
- [86] Fastighetsägarna Stockholm, "Energieffektiv belysning: Fakta, Teknik," Oktober 2008. [Online]. Available: <http://www.fastighetsagarna.se/BinaryLoader.axd?OwnerID=d3206aaf-3ce4-4eb8-a331-bd97eeea6fa&OwnerType=0&PropertyName=RelatedInfoFiles&File>. [Accessed 23 4 2013].
- [87] Ljuskultur, "Livslängd kan definieras på många olika sätt," Ljuskultur, 2009. [Online]. Available: <http://www.ljuskultur.se/fakta-och-miljo/teknik/ljuskallor/livslangd-kan-definieras-pa-manga-olika-satt/>. [Accessed 29 5 2013].
- [88] Energimyndigheten, "Ventilera rätt," November 2011. [Online]. Available: [http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/d4de84296664418397e42675e91d1a88/ET2011\\_33w.pdf](http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/d4de84296664418397e42675e91d1a88/ET2011_33w.pdf). [Accessed 6 5 2013].
- [89] Energi och klimatrådgivningen, "Faktablad: Isolering," Mars 2012. [Online]. Available: [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad\\_Isolering\\_20120301a.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad_Isolering_20120301a.pdf). [Accessed 25 4 2013].
- [90] Energimyndigheten, "Klimatskal," 12 2 2013. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/hushall/Bygga-nytt-hus/Klimatskal/>. [Accessed 6 5 2013].

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 88 of 115   |  |

- [91] Fastighetägarna Energiakademin, "Utvändig isolering av ytterväggar," Fastighetägarna Energiakademin, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/utvandig\\_isolering](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/utvandig_isolering). [Accessed 6 5 2013].
- [92] Fastighetsägarna Energiakademin, "Invändig tilläggsisolering av ytterväggar," Fastighetsägarna Energiakademin, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/invandig\\_isolering](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/invandig_isolering). [Accessed 6 5 2013].
- [93] Fastighetsägarna Energiakademin, "Fönstren kan vara stora energitjuvar," Fastighetsägarna Energiakademin, 2010. [Online]. Available: <http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/fonsterbyte>. [Accessed 6 5 2013].
- [94] Energi och klimatrådgivningen, "Faktablad: Fönster," Mars 2012. [Online]. Available: [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad\\_Fonster\\_20120301a.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/root/faktablad/Faktablad_Fonster_20120301a.pdf). [Accessed 26 4 2013].
- [95] Kostnadsguiden, "Fönsterbyte, kostnaden, fakta och priser," [Online]. Available: <http://kostnadsguiden.se/fonsterbyte-kostnad-fakta-och-priser/>. [Accessed 22 5 2013].
- [96] Fastighetsägarna Energiakademin, "Tätning av fönster och dörrar," Fastighetsägarna Energiakademin, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/tatning\\_av\\_fonster\\_och\\_dorrrar](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/byggt teknik/tatning_av_fonster_och_dorrrar). [Accessed 6 5 2013].
- [97] Willis, "TEKNISK MEDELLIVSLÄNGD FÖR BYGGNADSEDELAR OCH OLIKA BYGGNADSKONSTRUKTIONER: Bra att veta: Willis," Willis, [Online]. Available: <http://www.doldafel.nu/bra-att-veta.aspx>. [Accessed 18 4 2013].
- [98] Swedisol, "Mineralull - Prestanda och livslängd: Swedisol," Swedisol, [Online]. Available: <http://www.swedisol.se/mineralull-prestanda-livslangd>. [Accessed 18 4 2013].
- [99] Schneider electric, "KNX," Schneider electric, [Online]. Available: <http://www.schneider-electric.se/sites/sweden/sv/produkter-tjanster/elinstallation/hem-fastighetsautomation-knx.page>. [Accessed 15 5 2013].
- [100] ABB, "Teknik för ett energisnålare hus och ett enklare liv," ABB, 14 6 2012. [Online]. Available: <http://www.abb.se/cawp/seabb361/ddfa450ba627b671c125744b0037d75c.aspx>. [Accessed 15 5



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 89 of 115   |  |

2013].

- [101] Elias, "Bild KNX system," Elias, [Online]. Available: <http://www.eliasab.se/knx/>. [Accessed 15 5 2013].
- [102] Energimyndigheten, "Självdrag: Energimyndigheten," Energimyndigheten, 28 Mars 2011. [Online]. Available: <http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/Sjalvdragsventilation/>. [Accessed 29 4 2013].
- [103] Energi och klimatrådgivningen, "Elpanna: Energi och klimatrådgivningen," Energi och klimatrådgivningen, [Online]. Available: <http://www.energiradgivningen.se/elpanna>. [Accessed 24 4 2013].
- [104] VVS-företagen och Svensk ventilation, *Renovering pågår*, Grafisk form Formination AB, 2008.
- [105] J. Lidström, Interviewee, [Interview]. maj 2013.
- [106] Å. Blomsterberg, "Möjligheter med kontorsbyggnader i glas i Norden," Lunds universitet, Lund, 2008.
- [107] P. Jarnevad, Allmän bebyggelsehistoria, Stadsbyggnadskontoret, 2007.
- [108] FEBY, "FEBY, Kravspecifikation för passivhus," juni 2009. [Online]. Available: [http://www.ncc.se/global/projects\\_concepts/passivhus/kravspecifikation\\_passivhus\\_juni\\_2009.pdf](http://www.ncc.se/global/projects_concepts/passivhus/kravspecifikation_passivhus_juni_2009.pdf). [Accessed 12 6 2013].
- [109] Osram, "Den säkra ersättaren till T8-lysröret," Osram, 2013. [Online]. Available: [http://www.osram.se/osram\\_se/Foeretagskund/Allmaenbelysning/LED-ljuskaellor\\_och\\_lystroer/Produktoeversikt/Lysroer/SubstiTUBE/index.html](http://www.osram.se/osram_se/Foeretagskund/Allmaenbelysning/LED-ljuskaellor_och_lystroer/Produktoeversikt/Lysroer/SubstiTUBE/index.html). [Accessed 19 6 2013].
- [110] "bild Nore," [Online]. Available: <http://www.industristaden.se/foton/by06-nore.jpg>. [Accessed 20 5 2013].
- [111] Kungliga Byggnadsstyrelsen, "Anvisningar till byggnadsstadgan," Byggnadsstyrelsen, Stockholm, 1947.
- [112] Kungliga byggnadsstyrelsen, "Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS," Kungliga byggnadsstyrelsen, Stockholm, 1960.
- [113] Statens planverk, "Svensk byggnorm 67," Statens planverk, stockholm, 1968.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 90 of 115   |  |

- [114] Statens planverk, "Svensk byggnorm 1975 utgåva 3," Statens planverk, Stockholm, 1978.
- [115] Statens planverk, "Svenska byggnorm 1980 utgåva 2," Statens planverk, Stockholm, 1983.
- [116] Boverket, "Nybyggnadsregler," Boverket, Stockholm, 1988.
- [117] Boverket, "Boverkets författningssamling," Boverket, Stockholm, 1993.
- [118] Boverket, "Regelsamling för byggande, BBR 2012," Boverket, Karlskrona, 2011.
- [119] Boverket, "Regelsamling för byggande, BBR 2012," Elanders Sverige AB, 2011.
- [120] Boverket, "tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder EKS 8," Boverket, 2 1 2012. [Online]. Available: <http://www.boverket.se/Om-Boverket/Webbokhandel/Publikationer/2010/Europeiska-konstruktionsstandarder-EKS-8/>. [Accessed 27 5 2013].
- [121] Boverket, "Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)," Boverket, Catarina Olsson, 2011.
- [122] Boverket, "Bestämmelser kring värmepannor," Boverket, 20 3 2013. [Online]. Available: <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Regler-om-byggande/Ovriga-regler-for-byggnade/Bestammelser-kring-varmepannor/>. [Accessed 27 5 2013].
- [123] Boverket, "Hissar, rulltrappor, motordrivna portar och skidliftar," Boverket, 17 4 2013. [Online]. Available: <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Regler-om-byggande/Ovriga-regler-for-byggnade/Hissar-rulltrappor-motordrivna-portar-och-skidliftar/>. [Accessed 27 5 2013].
- [124] Energimyndigheten, "Energistatistik för lokaler 2011," Statens energimyndighet, Eskilstuna, 2012.
- [125] Energimyndigheten, "Energistatistik för flerbostadshus 2011," Statens energimyndighet, Eskilstuna, 2012.
- [126] Jernkontorets Energihandbok, "Axialfläktar," Jernkontorets Energihandbok, 16 April 2007. [Online]. Available: <http://energihandbok.se/x/a/i/10121/Axialflaktar.html>. [Accessed 13 3 2013].
- [127] M. Axell, K. Fyhr, S. Ruud and P. I. Sandberg, "Ombyggnad av befintliga bostäder till lågenergihus," SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2009.
- [128] Fastighetsägarna Energiakademin, "Effektivisera befintliga självdragssystem," Fastighetsägarna Energiakademin, 2010. [Online]. Available: [http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/effektivisera\\_sjalvd](http://energiakademin.fastighetsagarna.se/atgardsbeskrivningar/installationer/effektivisera_sjalvd)

#### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Datum: 2013-09-08   |  |
|  | Teknikutvecklingens påverkan på energianvändning i byggnader under 100 år |  |
|  | Maria Gårdestedt  |  |
|  | Page: 91 of 115   |  |

ragssystem. [Accessed 18 4 2013].

- [129] Energimyndigheten, "Cirkulationspumpar för flerbostadshus," Energimyndigheten, 24 11 2010. [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Cirkulationspumpar-for-flerbostadshus/>. [Accessed 21 5 2013].
- [130] vi i villa, "Isolera rätt - och spar pengar," vi i villa, [Online]. Available: <http://www.viivilla.se/Energi/Spartips/Isolera-ratt---och-spar-pengar-42820>. [Accessed 21 5 2013].
- [131] M. A. M. Axell, C. Haglund Stignor, M. Lindahl, R. Nordman and L. Rolfman, "Nästa generations värmepumpssystem i bostäder och lokaler," SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2009.

## Bilaga 1 – Road map

|             | 1900   | 1910  | 1920   | 1930   | 1940  |
|-------------|--|---|--|--|---|
| Ventilation | Lokaler: Kalorifersystem<br>Bostäder: Självdrag  |   | Lokaler: Självdrag.<br>Bostäder: Stockholmsventilation/<br>egna kanaler & ventiler + självdrag   | Lokaler: Separata T- och F-luftskanaler<br>Bostäder: Självdrag |   |
| Värmesystem | Vedeldning, rumsspecifik uppvärmning   |   | Vedpanna +<br>5 % Centralvärme; vattenburet<br>radiatorsystem  | Kol-/koks-/vedpanna, centralvärme                              |   |
| Belysning   | Gas/fotogenlampor<br>1914: 30% elektriskt ljus   |   | Gas/fotogenlampor<br>1924: 80 % elektriskt ljus  | Elektriskt ljus: Glödlampan                                    | T8/T12-lysrör, glödlampor   |
| Hiss        |  |   |  |  | Hiss i hus med 4 eller fler våningar  |
| Väggar      | Stomme/Fasad: Tegel/trä,<br>utan isolering   |   |  | Stomme/Fasad: Tegel,<br>utan isolering                         | Fasad: Tegel/högporöst tegel/lättbetong<br>Stomme: Lättegelsomme/ platsgjuten betong + putsad<br>träullsskiva |
| Tak         | Plåttak.<br>Takstol: Träpanel<br>Vindsbjälklag: Koksaska mellan brädgolv<br>Innertak: Putsad panel | Plåttak/tegel<br>Takstol: Träpanel, tjärad papp<br>Vindsbjälklag: Sågsån mellan<br>brädgolv/betongplatta<br>Innertak: Papp/puts | Sadeltak, Plåttak/tegel<br>Takstol: som 1920-talet<br>Vindsbjälklag: Betong/tegel & stål balkar, granulerad maugnsslagg, krossad betong<br>Innertak: papp/puts |  |   |
| Grund       | Källare/torpgrund  |   |  |  |   |
| Fönster     | 1 + 1 glas vintertid   |   |  | 2-glasfönster, kopplade  |   |

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|             | 1950   | 1960   | 1970  |
|-------------|--|--|---|
| Ventilation | Som 1930-1940-talet  | <i>Lokaler:</i> FT - system<br><i>Bostäder:</i> Självdrag + F-, FT-system  | <i>Lokaler:</i> Komfortkyla<br><i>Bostäder:</i> Självdrag, F-, FT-, FTX-system  |
| Värmesystem | Fotogen-/oljepanna, centralvärme   | 75 % Centralvärme, direktverkande elvärme, oljepannor  | El-/oljepanna, värmepump, fjärrvärme, direktverkande el   |
| Belysning   | Som 1940-talet   |  |   |
| Hiss        | Hiss i hus med 4 eller fler våningar   |  | Hissar i hus med 3 eller fler våningar  |
| Väggar      | <i>Fasad:</i> Utfackningsfasader, våningsspecifik yttervägg.<br><i>Stomme:</i> Betong.<br>Prefabricerade element: Cell- och Bokhyllsystemet<br>Trällsskivor. Mineralull & gipsskivor introducerades. | <i>Fasad:</i> Puts, tegel, betong/vit kalksten.<br><i>Stomme:</i> Betong<br>Prefabricerade element: Som 50-talet + Sandwichelement | <i>Fasad:</i> Som 60-talet + våningsspecifik yttervägg.<br><i>Stomme:</i> Betong<br>Prefabricerade element<br>Ångtät plastfolie introducerades  |
| Tak         | Lutande/plana tak, tegel<br><i>Takstol:</i> Träpanel, råspont<br><i>Vindbjälkslag:</i> Betong, koksaska/granulerad maugnsslagg, trä-/mineralullsskivor   | Plana/låglutande papptak<br><i>Takstol:</i> som 1950-talet<br><i>Vindbjälkslag:</i> Betong + mineralullsskivor                     | Som 1960 +<br>Sadeltak & betongpannor<br><i>Takstol:</i> Träpanel, mineralull, ev luftspalt, träfiberskiva<br><i>Vindbjälkslag:</i> Som 60-talet + plastfolie<br><i>Innertak:</i> Gips<br>Hela takelement |
| Grund       | Källare/ Platta på mark, värmeisolering: cellplast <i>ovan</i> betongplatta  |  |   |
| Fönster     | 2-glasfönster, kopplade  |  | 2-glas vanligast, 3-glas, isolerglas & energiglas började användas  |

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|             | 1980  | 1990  | 2000  | 2010 |
|-------------|---|---|---|------|
| Ventilation | Som 1970<br>+<br><i>Lokaler</i> : Fläktkonvektorer<br><i>Bostäder</i> : Frånluftsventilation med värmepump                                  | <i>Lokaler</i> : Kylbafflar, F-system & självdrag<br><i>Bostäder</i> : F-system, FVP  | S-, F-, FT-, FTX-, FVP-system, CAV/VAV-system, behovsstyrd ventilation, hybridventilation<br>Komfortkylsystem   |      |
| Värmesystem | El-/oljepanna, värmepump, fjärrvärme, direktverkande el   |   | Värmepumpar, fjärrvärme, alternativa bränslen: biobränslen, elvärme, solvärme   |      |
| Belysning   | Som 1940-talet  | Som 1960-1980 +<br>T5-lysrör och lågenergilampor  | (Glödlampor), T5-lysrör, LED-, halogen- & lågenergilampor, kompaktlysrör<br>Styrning & reglering  |      |
| Hiss        | hiss i bostadhus med fler än 10 våningar, 8 våningar(möbelhiss)   |   |   |      |
| Väggar      | <i>Fasad</i> : Tegel/natursten/plåt<br>Stomme: Som 1970<br>Platsgjutet/prefabricerat<br>Tjockare isolering, plastfolie<br>Utfackningsväggar | Som 1980<br>+<br><i>Stomme</i> : Även i trä<br><i>Fasad</i> : Trä, glas, stål, plåt, fasadplattor<br>Träregelbaserade utfackningsväggar | <i>Stomme</i> : Som 1990<br><i>Fasad</i> : Slätputsad med träinslag/<br>glasfasad/naturstensplattor/tegel/träpanel/plåt.<br>Lösullsisolering + plastfolie, glespanel, gips.           |      |
| Tak         | Som 1970<br>+<br>Osymmetriskt: Plana tak/sadeltak<br>Betongpannor, plåt, tegel  |   | Plana papptak.<br><i>Takstolar</i> : Fribärande<br>Fackverkstakstolar/limträbalkar, lösullsisolering,<br>råspont, 2-lager papptak.<br><i>Innertak</i> : Plastfolie, glespanel & gips. |      |
| Grund       | Platta på mark, värmeisolering: cellplast <i>under</i> betongplatta   |   |   |      |
| Fönster     | 3-glas standard, isolerglas & energiglas, varierade former och strukturer, större ytor  |   |   |      |

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

## Bilaga 2 - Krav på energianvändning

### Boverkets byggregler

De första nationellt gällande byggreglerna gavs ut 1947 och många regler har getts ut under åren av Boverket och dess föregångare Byggnadsstyrelsen och Planverket. Reglerna har haft olika benämningar; föreskrifter, allmänna råd, anvisningar och råd. Här följer en redogörelse av de regelsamlingar som getts ut för att få en uppfattning om hur byggande och konstruktion har utvecklats. På så sätt kan krav och råd om byggande och energianvändning knytas an energianvändningens utveckling. Fokus kommer ligga på regler gällande klimatskärm och dess byggkonstruktion och ingående material samt gränsvärden för värmeegenomgångstal och isolertjocklek. Regler om ventilation kommer också att tas upp samt regler om värmeinstallationer och belysning. För att tydliggöra vilken BBR som gäller för ett befintligt hus kommer här ett exempel: För ett hus som är byggt 1996. Om regler om ventilation för huset ska användas, ska den BBR som gavs ut närmast före 1996 läsas, vilket i detta fall var BBR 4.

#### **1947: Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947 [111].**

Denna regelsamling har olika avdelningar med bestämmelser för stad, vissa stadsliknande samhällen och bestämmelser för landet i övrigt men också gemensamma regler för staden och landet. Reglerna var således inte enhetliga för hela landet. Bestämmelse för stad innehåller bland annat att vid planläggande av lägenheter var det fokus på trivsamt för de boende. Regler om belysning och värmeinstallationer beskrevs enligt citatet nedan.

*”Boningsrum skall, där tillbörlig uppvärmning eljest ej erhålles, förses med tillfällig eldstad eller annan tillfredsställande anordning för rummets uppvärmning.” [84]*

Samt ska tillräckligt ljus tillföras i lokaler och bostäder. Bland annat skulle det tillses att så soligt läge som möjligt erhöles och att lägenheten om möjligt gjordes genomluftbar 728<sup>1</sup> [111]. I samband med detta ges också rekommendationer för rumsareor [111]. Krav på klimatskärm och inre anordnande. gällde bland annat värmeisoleringsförmågan, vilken skulle utformas enligt byggnadsstyrelsen rekommendationer och tas upp<sup>2</sup> vidare läggs betoning på att isolering av bottenvåning ska finnas då det inte finns källare<sup>3</sup> [111]. Enligt beskrivning byggnadens anordnande ska också fönster finnas och utformas i varje boningsrum ”så att god dager upprätthålles”<sup>2</sup> [111]. För brandsäkerhet ges också rekommendationer<sup>4</sup> och bland annat rekommenderas det att byggnader med fler än 4 våningar ska ha bjälklag av brandsäkert material [111]. Det ges också instruktioner för att förhindra fuktskador<sup>5</sup> [111]. Det finns regler om utformning av rökkanaler och eldstadens utformning<sup>6</sup> [111]. Angående ventilation finns det rekommendationer för stad angående luftintag och utförande av luft<sup>2</sup>. Bland annat finns det riktlinjer om att det ska ses till att anordning för intag av friskluft i boningsrum samt anordning av uttag av förbrukad luft<sup>2</sup> [111]. I avsnittet om bestämmelser för landet i övrigt finns regler och råd om bland annat ventilation, rumshöjd samt belysning<sup>7</sup> [111]. Där betonas att nödvändig luftväxling ska finnas och dagsbelysning ska finnas i boningsrum, samlingslokaler och fabrikslokaler [111].

#### **1960: Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960 [112]**

En ny byggnadsstadga trädde i kraft den 1 juli 1960. I den nya byggnadsstadgan strävades främst efter att få enhetliga byggnadsbestämmelser för hela landet. De lokala byggnadsordningarna som tidigare funnits upphävdes. Krav och råd om olika typer av last för byggnadsdelar och material finns bland annat vid vindlaster och materiallast<sup>8</sup>. Regler och angivelser om skydd mot fukt finns specificerat med avseende på

<sup>1</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 728

<sup>2</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 727

<sup>3</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 729

<sup>4</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 729-733

<sup>5</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 728-729

<sup>6</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 732-733

<sup>7</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1947, s 751

<sup>8</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 7-27

### EN1315

både utformning och arbetsutförande där det bland annat skrivs att tillräcklig lutning på tak för vattenavrinning ska byggas samt att fuktbeständiga material ska användas som värmeisolering<sup>9</sup> [112]. Krav och råd ges också om byggnadens utformning vad gäller rumshöjder och golvytor i olika byggnadstyper<sup>10</sup> [112]. Krav och råd om värmeisoleringsförmåga för material finns specificerat och bland annat ges ett högsta värmeegenomgångstal för, bland annat boningsrum och arbetsrum<sup>11</sup> Maximala värmeegenomgångstal finns tabellerat i tabell 22:1 i regelsamlingen<sup>12</sup> [112]. Kraven skiljer sig också mellan olika på delar i Sverige enligt zonindelningen på fyra zoner<sup>13</sup> [112]. Maximala värmeledningstal finns tabellerat för olika material, fönster och luftskikt i tabell 22:2<sup>14</sup> [112]. Det finns också riktlinjer om brandskydd vilka utgår från en beskrivning av brandsäker byggnad och där beskrivs hur klimatskärmen bör utformas med material för att vara brandsäkert<sup>15</sup> [112]. Ventilationskrav och råd ges i form av allmänna fordringar för bostäder och andra lokaler, bland annat skrivs att bonings- och om möjligt arbetsrum ska förses med öppningsbara fönster för snabb vädring<sup>16</sup> [112]. Regler om luftväxling tabell 32:1<sup>17</sup>. Regler och råd finns för bostäder och kontor med självdrag respektive mekanisk ventilation<sup>18</sup> [112]. Värmeinstallationer och krav på dessa ges i form av krav på utformning av eldstäder, rökkanaler pannrum samt elektrisk uppvärmning<sup>19</sup>. Krav på hissar finns också<sup>20</sup> [112].

### **1967: Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967** [113]

BABS 1967 (Statens planverk publikation nr 1) trädde i kraft den 1 januari 1968 och ersatte BABS 1960. Fokus låg på utformning av föreskrifterna som funktionskrav och på samordning av alla bestämmelser som berör husbyggandet. Flera tillägg och ändringar publicerades. Även här finns krav och råd om klimatskärmens konstruktion. Krav på klimatskärmens *värmeegenomgångstal* på konstruktionsdelar samt fönster, finns i tabeller efter klimatzoner<sup>21</sup> [113]. Det ges också krav på vindskydd<sup>22</sup> [113]. Utformning av byggnadstyper och bland annat krav på rumshöjd anges också<sup>23</sup> [113]. Fukt- och vattenisolering är också något som det ges regler och råd om, bland annat vad gäller utformning av byggnaden<sup>24</sup> [113]. Ventilationskrav och råd ges där krav och råd om ljudisolering, utformning av don och placering av dessa, kanalsystemets täthet bland annat ingår<sup>25</sup> [113]. Luftväxlingskrav för mekanisk ventilation finns tabellerad för olika typer av bostadsrum och lokaler<sup>26</sup> [113]. Det finns också riktvärden på kanalernas tvärsnittsytor vid självdragsventilation<sup>27</sup> [113]. Brandskyddsregler finns också specificerat<sup>28</sup> [113]. Krav och råd för uppvärmningsanordningar också där bland annat regler och råd för eldstäder och elektrisk uppvärmning finns specificerat<sup>29</sup> [113]. Beräkning av dimensionerat värmeeffektbehov och den dimensionerade inomhustemperaturen finns förklarad<sup>30</sup> [113]. Råd om belysning finns för bostadsrum och

<sup>9</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 109-112

<sup>10</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 237-269

<sup>11</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 112

<sup>12</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 113

<sup>13</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 114

<sup>14</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 117-122

<sup>15</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 155-157

<sup>16</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 163-167

<sup>17</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 167

<sup>18</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 164-176, 179-180

<sup>19</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 202-231

<sup>20</sup> Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan BABS 1960, s 196-201

<sup>21</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 200-204

<sup>22</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 218

<sup>23</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 397-400

<sup>24</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 189-198

<sup>25</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 241

<sup>26</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 250-265

<sup>27</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 267-268

<sup>28</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 289-320

<sup>29</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 381-390

<sup>30</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 235-240

#### **EN1315**



matlagningsutrymme. i form av råd gällande ljusinsläpp med väggfönster<sup>31</sup> [113]. Det ges också krav på hissar<sup>32</sup> [113].

### **1975: Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet [114]**

Krav och råd om klimatskärm finns för bland annat värmegenomgångstal för byggnadsdelar i tabell 33:21 och godtagbar fönsterarea finns specificerad i figur 33:211<sup>33</sup> [114]. Beräkningsvärden för dimensionering av klimatskärmen med bland annat U-värden anges också<sup>34</sup> [114]. Det finns också gränsvärden för godtagen luftläckning<sup>35</sup> [114]. Krav och råd om dimensionering av termiskt inomhusklimat finns<sup>36</sup> [114]. Krav och råd om byggnadsutformning av lokaler och bostäder anges<sup>37</sup>. Regler och anvisningar om fuktisolering finns också angivet i termer av både ventilering, materialval samt konstruktion<sup>38</sup> [113]. Det finns krav och råd angående ventilation<sup>39</sup>. Regler om godtagen luftkvalitet och luftväxling för arbets-, samlings- och undervisningslokaler ges med hjälp av figur 6:22<sup>40</sup> [114]. Ventilationskrav för lokaltypen som exempelvis hissrum finns också angivet<sup>41</sup> [114]. Godtagen luftväxling för bostäder finns i tabell 36:42<sup>42</sup> [114]. Krav för bostadshus med självdrag finns och specificeras med hjälp av tabell 36:43<sup>43</sup> [114]. Det ges också krav på brandskydd<sup>44</sup> [114]. Allmänna krav och råd om luftbehandling finns där brandtekniska aspekter samt ombyggnadsregler behandlas<sup>45</sup>. Allmänna krav och råd för uppvärmningsanordningar där krav för både eldningsapparater och elektrisk uppvärmning specificeras<sup>46</sup> [114]. Där finns anordningsspecifikationer för utformning och rökgaskanaler respektive allmänna råd och krav om elektrisk uppvärmning<sup>47</sup> [114]. Angående belysning finns krav och råd om artificiell belysning<sup>48</sup> [114].

Detta år kom också krav på Energihushållning, där allmänna krav ges<sup>49</sup>. Ingår gör regler om byggnadsutformning, begränsad värmeavgivning från installationer, uppvärmningsinstallationer; panninstallation, distributionssystem, reglersystem, injustering<sup>50</sup>. Elinstallationer med hänsyn till krav på energihushållning samt råd och krav på mätning av el- och gasförbrukning ges<sup>51</sup>. Det ges också krav och råd för värmeåtervinning av ventilationsluften samt på injustering av luftbehandlingsinstallation<sup>52</sup>. Föreskrifter om hissar och personaltransporter anges<sup>53</sup>.

### **1980: Svenska byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1) [115]**

---

<sup>31</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 186

<sup>32</sup> Svensk Bygg Norm 67 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, BABS 1967, s 325-347

<sup>33</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 189

<sup>34</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 191-194

<sup>35</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 195

<sup>36</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 209-218

<sup>37</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 375-464

<sup>38</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 177-187

<sup>39</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 219-234

<sup>40</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 222

<sup>41</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 224-226

<sup>42</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 226

<sup>43</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 228-229

<sup>44</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 237-267

<sup>45</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 357-371

<sup>46</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 345

<sup>47</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 345-352

<sup>48</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 269

<sup>49</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 271

<sup>50</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 273-274

<sup>51</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 277

<sup>52</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 275, 276

<sup>53</sup> Svensk byggnorm 1975 Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet, s 297-317

#### **EN1315**

Krav på klimatskärm och bland annat grundkonstruktioner finns specificerat<sup>54</sup> [115]. Det finns också krav på konstruktioner av olika material så som betong-, murverk- och träkonstruktioner med flera<sup>55</sup> [115]. Krav på värmeisolering och lufttätethet finns där regler vid ombyggnad ingår<sup>56</sup>. Allmänna krav för värmeisolering samt krav om *maximal värmeegenomgångskoefficient* för material samt godtagbar fönsterarea specificeras<sup>57</sup> [115]. Krav om lufttätethet för byggnad och byggnadsdelar finns angivna<sup>58</sup> [115]. Krav och råd om byggnadsutformning och utrymmeskrav där exempelvis rumshöjd specificeras<sup>59</sup> [115]. För utformning av bostäder, hotell, industrilokaler och andra typer av lokaler finns också krav. Det är exempelvis yta, rumshöjd, hissar och annan typ av standard<sup>60</sup> [115]. Krav och råd om fukt och vattenisolering finns specificerat<sup>61</sup> [115]. Det finns krav på termiskt inomhusklimat dels i form av allmänna krav men också särskilt för vinter respektive sommar<sup>62</sup> [115]. Det dimensionerande termiska inomhusklimatet specificeras<sup>63</sup> [115]. Där ingår beskrivning av teoretisk operativ temperatur samt beräkning av dimensionerat värmeeffektbehov<sup>64</sup> [115]. Allmänna krav och råd om uppvärmning ges<sup>65</sup> [115]. Krav och råd om eldstäder, eldningsapparat för fast bränsle, varmvattenpanna samt elektrisk uppvärmningsanordning anges<sup>66</sup> [115]. Specificerat är också godtagen värmeproduktion under bränsleförsörjningskris<sup>67</sup> [115]. Det finns också regler och råd om vatteninstallationer och bland annat tappvarmvatten<sup>68</sup> [115]. Allmänna krav och råd om ventilationssystem specificeras<sup>69</sup> [115]. Det ges även krav och råd angående allmänventilation och godtagen tilluftskvalitet och luftväxling<sup>70</sup> [115]. Krav och anvisningar för ventilation i olika utrymmen ges bland annat för bostäder<sup>71</sup>, mekanisk ventilation ges också krav och anvisningar för självdragsventilation [115]. Krav och råd för *belysning* med avseende på både dagsljus och artificiell belysning, där ges i form av rekommendationer för tillräcklig belysning<sup>72</sup> [115]. Krav och råd om energihushållning där bland annat byggnadsutformning och allmänna krav behandlas<sup>73</sup> [115]. Krav och råd för begränsad värmeavgivning från installationer ges<sup>74</sup>. Krav och råd om uppvärmningsinstallationer: panninstallationer, distributionssystem behandlas där reglersystem av värme samt injustering ingår<sup>75</sup> [115]. Luftbehandlingsinstallationer har krav och råd för hänsyn till energihushållning där krav på värmeåtervinning vid vissa förutsättningar samt krav på injustering av ventilationssystem ingår<sup>76</sup> [115]. Regler och anvisningar om elinstallationer, mätning av elinstallationer finns också<sup>77</sup> [115]. Det ges också krav och råd om byggnadsdelar och installationer med avseende på skyddsanordningar och tillgänglighet. Dessa innehåller bland annat allmänna krav och råd på byggnadsdelar för bland annat fönster och dörrar<sup>78</sup> [115]. Anvisningar och krav om hissar specificeras där bland annat regler och anvisningar om

<sup>54</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 109-128

<sup>55</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 129-180

<sup>56</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 201-218

<sup>57</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 201-207

<sup>58</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 211

<sup>59</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 493-495

<sup>60</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 491-598

<sup>61</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 189-201

<sup>62</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 231

<sup>63</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 231-238

<sup>64</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 237

<sup>65</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 395

<sup>66</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 396-406

<sup>67</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 407

<sup>68</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 413-470

<sup>69</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 239-241

<sup>70</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 241-242

<sup>71</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 246-250

<sup>72</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 231

<sup>73</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 303-321

<sup>74</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 304

<sup>75</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 306-308

<sup>76</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 308-310

<sup>77</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 311

<sup>78</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 326-327

## EN1315

ventilation och uppvärmning ges<sup>79</sup>. Plan- och bygglagen (1987:10) PBL, började tillämpas den 1 juli 1987. Den ersatte byggnadslagen och byggnadsstadgan. Just då trädde också plan- och byggförordningen (1987:383) PBF, i kraft. Den 2 maj 2011 trädde en ny plan- och bygglag (2010:900) samt en ny plan- och byggförordning (2011:338) i kraft. Äldre plan- och bygglag samt äldre plan- och byggförordning slutar då samtidigt att gälla.

#### **1990: Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18 [116]**

Krav för byggnader och dess tillgänglighet presenteras<sup>80</sup> [116]. Där omfattas exempelvis glas i dörrar samt fönster, hissar samt maskindrivna portar och väggar<sup>81</sup> [116]. Krav och anvisningar för klimatskärmens utformning för bostäder ges<sup>82</sup> [116]. Krav och råd för fritidshus, hotell och andra lokalers utformning ges också<sup>83</sup> [116]. Regler om brandskydd kräver också vissa typer av material<sup>84</sup> [116]. Regler och råd om fukt uppkommer i samband med flera områden men har också ett eget kapitel i denna regelsamling<sup>85</sup> [116]. Här ingår det exempelvis byggnadsgrunder, ventilation av slutna utrymmen, skydd mot vattenskador samt konstruktioner av tak och bjälklag [116]. Krav och råd om värme ges, där bland annat energihushållning, begränsning av värmeenergiebehov, värmeisolering och genomsnittlig värmeövergång samt beräkning av U-värde ingår<sup>86</sup> [116]. Då är det i form av givna ekvationer som beror av byggnadens area av fönster, uppvärmd area samt omslutande area [116]. Det ges också krav på byggnadens lufttäthet samt värmeåtervinning i ventilation för minskning av byggnadens behov av värmeenergi<sup>87</sup> [116]. Krav för ett bra termiskt rumsklimat samt regler för värmedistribution och dimensionering av värmeeffektbehov finns angivet<sup>88</sup> [116]. Krav för värmeproduktion finns där eldstäder och eldningsapparater ingår<sup>89</sup> [116]. Krav för temperatur på varmvatten specificeras<sup>90</sup> [116]. Krav och råd om luft anges, där riktvärden för luftväxling finns<sup>91</sup> [116]. Det finns krav för luftbehandlingsinstallationer och på att styrsystem ska finnas<sup>92</sup> [116].

#### **1994: Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1 [117]**

Den 1 januari 1994 trädde Boverkets byggregler BBR 1, BFS 1993:57 och Boverkets konstruktionsregler BKR 1, BFS 1993:58 i kraft. Dessa innehåller föreskrifter och allmänna råd. I samma veva upphörde nybyggnadsreglerna att gälla. BBR är funktionskrav, vilket betyder att en viss funktion ska uppnås vilken ibland kan uppnås på olika sätt. Både BBR och BKR har korrigerats vid ett flertal gånger. Ibland har ändringarna varit omfattande och vid andra tillfällen endast varit mindre ändringar. Numera sker en ständig översyn av reglerna. BKR upphävdes den 1 januari 2011 och ersattes då av BFS 2010:28, EKS 7. Krav och råd anges om utformning av bostads- och arbetsrum där bland annat rumshöjden specificeras<sup>93</sup> [117]. I övrigt ingår tillgänglighet i byggnader vad gäller utrymmen, hissar, dörrar och andra byggnadsdelar [117]. Föreskrifter och allmänna råd om brandskydd ges<sup>94</sup> där bland annat krav på material specificeras<sup>95</sup> [117]. Ett eget kapitel om fukt finns också, där byggnadens utformning ligger i fokus<sup>96</sup> [117]. Föreskrifter och allmänna råd om ventilation ges<sup>97</sup> [117]. Där specificeras bland annat krav för luftväxling<sup>98</sup> [117]. Regler

<sup>79</sup> Svensk byggnorm 1980 (Statens planverks författningssamling, PFS, 1980:1), s 341-362

<sup>80</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 21-94

<sup>81</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 28-35

<sup>82</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 66-70

<sup>83</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 71-86

<sup>84</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 334-338

<sup>85</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 321-330

<sup>86</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 97-99

<sup>87</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 100

<sup>88</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 101-105

<sup>89</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 107-111

<sup>90</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 148

<sup>91</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 127-128

<sup>92</sup> Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, BFS 1988:18, s 131-135

<sup>93</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 19

<sup>94</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 29-69

<sup>95</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 48-55

<sup>96</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 77-79

<sup>97</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 71-75

#### **EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

och råd om ljus och belysning, vilka ges i form av rekommenderad fönsterarea för ljusinsläpp<sup>99</sup> [117]. Krav och råd om *termiskt rumsklimat* finns där råd om operativ temperatur och krav på riktvärde om värmeeffektbehov ges<sup>100</sup> [117]. Regler om tappvarmvatten specificeras där krav och råd om varmvattentemperaturen och vattenflödet finns<sup>101</sup> [117]. Avsnitt angående krav och allmänna råd om energihushållning och värmeisolering finns också i form av dels allmänna krav<sup>102</sup> [117]. Begränsning av värmeförluster och däribland krav på klimatskärm i form av högsta tillåtna värmegenomgångstal ges<sup>103</sup> [117]. Krav på lufttäthet och krav om energiförluster i samband med ventilation finns också<sup>104</sup> [117]. Krav på värmeproduktion och distribution där bland annat pannors verkningsgrad samt varmvattenberedning ingår<sup>105</sup> [117]. Regler och rekommendationer för effektiv värmeanvändning ges i samband med effektiv elanvändning<sup>106</sup>.

## **2012: Regelsamling för byggande, BBR 2012 [118]**

Allmänna regler för byggnader krav och råd om material och produkter samt ekonomiskt rimlig livslängd anges<sup>107</sup> [118]. Krav på tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen specificeras<sup>108</sup> [118]. Krav på rumshöjd för olika typer av lokaler ges<sup>109</sup> [118]. Regler och råd om fukt ges där både lufttäthet och ytskiktmaterial tas upp<sup>110</sup> [119]. Föreskrifter och råd om brandskydd ges<sup>111</sup> [118]. Föreskrifter och råd hygien, hälsa och miljö ges<sup>112</sup>. Regler och råd om ventilation ges<sup>113</sup> [118]. Regler och råd om ljus presenteras, vilken ska vara anpassad efter ändamålet och tillgång på solljus ska finnas<sup>114</sup> [118]. Därefter ges krav på termiskt klimat där bland annat värme och kylbehov ingår<sup>115</sup> [118]. För byggnad med eluppvärmning finns en begränsad installerad effekt för värmebehov, för maximalt tillåtet värmeövergångstal samt energianvändning<sup>116</sup> [118]. För uppvärmning med annat sätt finns ingen gräns för installerad värmeeffekt, däremot finns gräns för värmegenomgångstal och energianvändning [118]. Vid ändring av byggnad ges också speciella krav för hygien, hälsa och miljö<sup>117</sup> [118]. Avsnitt om krav och råd om energihushållning finns<sup>118</sup> [118]. Där ingår regler för bostäder och lokaler. Krav på energianvändningen för dessa samt genomsnittligt värmegenomgångstal ges för byggnader beroende på om de är elvärmade eller har en annan uppvärmningskälla<sup>119</sup> [118]. Där ingår också krav och råd om klimatskärmens täthet. Alternativa krav på byggnadens energianvändning finns beroende på om de har mindre uppvärmd yta, fönsterarea eller avsaknad av kylbehov<sup>120</sup> [118]. Krav och råd om värme-, kyl- och luftbehandlingsinstallationer och på styr- och reglersystem finns<sup>121</sup> [118]. Krav och råd om effektiv elanvändning finns angivet<sup>122</sup> [118]. Krav på mätsystem för elanvändning finns också<sup>123</sup> [118].

---

<sup>98</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 72-73

<sup>99</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 75-76

<sup>100</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 76

<sup>101</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 79-80

<sup>102</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 109

<sup>103</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 110-111

<sup>104</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 112-113

<sup>105</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 113-115

<sup>106</sup> Boverkets författningssamling 1993:57 Boverkets byggregler 1, s 116

<sup>107</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 85-90

<sup>108</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 91-114

<sup>109</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 105-106, 113

<sup>110</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 207-214

<sup>111</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 117-196

<sup>112</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 197-236

<sup>113</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 200-203

<sup>114</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 203-205

<sup>115</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 205-207

<sup>116</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 266

<sup>117</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 225-236

<sup>118</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 261-281

<sup>119</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 266-272

<sup>120</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 272-273

<sup>121</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 273-274

<sup>122</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 275

### **EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

Avslutningsvis ges en beskrivning för klassning av byggnadens energianvändning samt krav vid ändringar<sup>124</sup> [118].

### **Kompletterande material för regler om byggande**

De europeiska konstruktionsstandarderna EKS, eurokoderna och nationella val i Boverkets föreskriftsserie EKS bildar tillsammans det regelsystem som från och med den 1 januari 2011 helt ersätter Boverkets konstruktionsregler, BKR [120]. I Sverige är EKS idag det enda svenska systemet för dimensionering av bärande konstruktioner [120]. I EKS finns allmänna råd samt föreskrifter till plan och bygglagen samt till plan och byggförordningens avsnitt om krav på bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk samt på byggnadsverks bärförmåga vid händelse av brand [121]. Det finns speciella krav för värmepannor samt för hissar och rulltrappor. Dessa krav är specificerade i egna skrifter. Bestämda krav förekommer för drift av värmepannor. Nya pannor har exempelvis särskilda effektivitetskrav om de eldas med flytande eller gasformigt bränsle [122]. Separata regler i form av föreskrifter och allmänna råd finns förklarade i Boverkets författningssamling [122]. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om hissar och vissa andra motordrivna anordningar finns i BFS 2011:12 med ändringar [123]. Föreskrifterna innehåller krav vid nyinstallation, ändring, skötsel, drift, underhåll och besiktning för: hissar, rulltrappor och rullramper, motordrivna portar och dörrar m.m. samt för anordningar avsedda att ta hand om eller forsla bort avfall [123].

---

<sup>123</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 275-276

<sup>124</sup> Regelsamling för byggande, BBR 2012, s 276-281

### Bilaga 3 – Gradtimmetabell

Gradtimmar  $G_t$  °Ch som funktion av gränstemperatur  $T_g$  5 - 25°C och normalårs-temperatur  $T_{un}$  °C.

Tabellvärden från VVS-handbokens tabell 7:30,1 med sorten kJh/kg luft år lika med °Ch

| $T_g$<br>°C | $T_{un}$ °C |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | -2          | -1     | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| 25          | 238900      | 229400 | 220300 | 211200 | 202000 | 192900 | 184000 | 174900 | 165600 | 156800 | 147300 |
| 24          | 230100      | 220600 | 211600 | 202500 | 192300 | 184200 | 175300 | 166300 | 157000 | 148300 | 138700 |
| 23          | 221400      | 211900 | 202900 | 193800 | 184600 | 175600 | 166700 | 157700 | 148500 | 139800 | 130300 |
| 22          | 212750      | 203200 | 194300 | 185200 | 176000 | 167000 | 158200 | 149200 | 140000 | 131300 | 121900 |
| 21          | 204100      | 194600 | 185700 | 176600 | 167500 | 158600 | 149700 | 140800 | 131600 | 123000 | 113600 |
| 20          | 195500      | 186100 | 177200 | 168100 | 159000 | 150100 | 141300 | 132400 | 123300 | 114800 | 105500 |
| 19          | 187000      | 177600 | 168700 | 159700 | 150600 | 141800 | 133000 | 124200 | 115200 | 106700 | 97600  |
| 18          | 178500      | 169200 | 160300 | 151300 | 142300 | 133600 | 124900 | 116100 | 107200 | 98900  | 90000  |
| 17          | 170100      | 160800 | 152000 | 143100 | 134100 | 125400 | 116800 | 108200 | 99500  | 91400  | 82700  |
| 16          | 161700      | 152500 | 143800 | 135000 | 126100 | 117500 | 109000 | 100500 | 92000  | 84200  | 75700  |
| 15          | 153500      | 144300 | 135700 | 127000 | 118200 | 109700 | 101400 | 93200  | 84900  | 77200  | 69000  |
| 14          | 145400      | 136300 | 127700 | 119200 | 110500 | 102300 | 94100  | 86100  | 78000  | 70600  | 62700  |
| 13          | 137400      | 128400 | 120000 | 111500 | 103100 | 95000  | 87100  | 79300  | 71500  | 64300  | 56600  |
| 12          | 129600      | 120800 | 112400 | 104200 | 96000  | 88000  | 80300  | 72700  | 65200  | 58200  | 50900  |
| 11          | 121900      | 113300 | 105100 | 97000  | 89000  | 81400  | 73900  | 66500  | 59300  | 52500  | 45400  |
| 10          | 114500      | 106000 | 98000  | 90100  | 82400  | 74900  | 67700  | 60600  | 53600  | 47100  | 40300  |
| 9           | 107200      | 99000  | 91200  | 83500  | 76000  | 68800  | 61800  | 54900  | 48200  | 42000  | 35500  |
| 8           | 100200      | 92200  | 84600  | 77200  | 69900  | 62900  | 56200  | 49600  | 43200  | 37100  | 31100  |
| 7           | 93500       | 85800  | 78300  | 71100  | 64100  | 57400  | 50800  | 44500  | 38400  | 32600  | 26900  |
| 6           | 87000       | 79500  | 72300  | 65300  | 58500  | 52000  | 45800  | 39700  | 33900  | 28400  | 23000  |
| 5           | 80750       | 73500  | 66500  | 59700  | 53200  | 47000  | 41000  | 35200  | 29700  | 24500  | 19500  |

Gradtimmor  $G_t$  °Ch som funktion av gränstemperatur  $T_g$  -25 - 5°C och normalårs-temperatur  $T_{un}$  °C.

Tabellvärden har beräknats från varaktighetskurvor i VVS-handboken 7:28,1.

| $T_g$<br>°C | $T_{un}$ °C |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | -2          | -1    | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 5           | 80750       | 73500 | 66500 | 59700 | 53200 | 47000 | 41000 | 35200 | 29700 | 24500 | 19500 |
| 4           | 74773       | 67794 | 61066 | 54537 | 48310 | 42382 | 36655 | 31129 | 25904 | 20980 | 16260 |
| 3           | 69043       | 62338 | 55884 | 49631 | 43680 | 38030 | 32582 | 27337 | 22397 | 17763 | 13340 |
| 2           | 63560       | 57131 | 50955 | 44981 | 39310 | 33942 | 28780 | 23824 | 19178 | 14847 | 10740 |
| 1           | 58323       | 52174 | 46278 | 40586 | 35200 | 30120 | 25248 | 20590 | 16248 | 12233 | 8460  |
| 0           | 53333       | 47466 | 41853 | 36447 | 31350 | 26562 | 21988 | 17634 | 13607 | 9920  | 6500  |
| -1          | 48590       | 43007 | 37681 | 32565 | 27760 | 23270 | 19000 | 14957 | 11254 | 7910  | 4861  |
| -2          | 44093       | 38797 | 33761 | 28937 | 24430 | 20242 | 16282 | 12559 | 9190  | 6191  | 3523  |
| -3          | 39843       | 34837 | 30093 | 25566 | 21360 | 17480 | 13835 | 10440 | 7400  | 4742  | 2457  |
| -4          | 35840       | 31126 | 26678 | 22451 | 18550 | 14982 | 11660 | 8582  | 5860  | 3539  | 1631  |
| -5          | 32083       | 27664 | 23515 | 19591 | 16000 | 12749 | 9736  | 6959  | 4549  | 2558  | 1014  |
| -6          | 28573       | 24451 | 20604 | 16987 | 13710 | 10763 | 8037  | 5555  | 3450  | 1778  | 577   |
| -7          | 25310       | 21488 | 17946 | 14639 | 11661 | 8994  | 6548  | 4353  | 2544  | 1175  | 287   |
| -8          | 22293       | 18774 | 15540 | 12530 | 9827  | 7430  | 5255  | 3339  | 1813  | 727   | 116   |
| -9          | 19523       | 16310 | 13369 | 10633 | 8197  | 6059  | 4145  | 2496  | 1237  | 410   | 31    |
| -10         | 17000       | 14080 | 11411 | 8938  | 6757  | 4868  | 3203  | 1808  | 798   | 202   | 2     |
| -11         | 14711       | 12063 | 9654  | 7434  | 5497  | 3844  | 2416  | 1260  | 477   | 79    | 0     |
| -12         | 12637       | 10248 | 8087  | 6108  | 4404  | 2975  | 1770  | 836   | 257   | 20    | 0     |
| -13         | 10768       | 8626  | 6700  | 4951  | 3467  | 2248  | 1250  | 519   | 117   | 1     | 0     |
| -14         | 9093        | 7184  | 5481  | 3949  | 2673  | 1650  | 844   | 295   | 40    | 0     | 0     |
| -15         | 7602        | 5913  | 4420  | 3093  | 2010  | 1169  | 537   | 146   | 7     | 0     | 0     |
| -16         | 6283        | 4801  | 3505  | 2370  | 1467  | 792   | 315   | 59    | 0     | 0     | 0     |
| -17         | 5126        | 3838  | 2726  | 1770  | 1032  | 506   | 164   | 15    | 0     | 0     | 0     |
| -18         | 4121        | 3013  | 2072  | 1281  | 693   | 299   | 72    | 1     | 0     | 0     | 0     |
| -19         | 3256        | 2316  | 1532  | 891   | 437   | 157   | 22    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -20         | 2522        | 1736  | 1095  | 590   | 254   | 70    | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -21         | 1907        | 1261  | 750   | 365   | 131   | 22    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -22         | 1402        | 882   | 487   | 206   | 55    | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -23         | 994         | 588   | 293   | 102   | 16    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -24         | 675         | 368   | 159   | 40    | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -25         | 432         | 211   | 74    | 10    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

## Bilaga 4 – Livslängd på material och systemkomponenter

| <b>Takkonstruktioner</b>  |                  |
|---|------------------|
| Takpapp låglutande/platta konstruktioner  | 20 år            |
| Gummiduk låglutande/platta konstruktioner                                       | 30 år            |
| Takpapp under takpannor av betong, tegel<br>(Takpannor av betong/tegel)         | 30 år<br>(30 år) |
| Korrugerad takplåt med underliggande papp                                       | 35 år            |
| Bandfalsad plåt, falsad plåt med underliggande papp                             | 35 år            |
| Asbestcementskivor/eternitskivor  | 30 år            |
| Plåtdetaljer (runt skorstenar, ventilation etc.)                                | 35 år            |
| Hängrännor/stuprör  | 25 år            |
| Skorsten (renovering/ommurning skorstenstopp, tätning rökkanaler)               | 40 år            |
| Nytt undertak - invändigt   | 40 år            |
| <b>Terrasser/balkonger/altaner/utomhustrappor</b>                               |                  |
| Tätskikt (t ex asfaltsbaserade tätskikt)  | 35 år            |
| Plåt  | 35 år            |
| Betongbalkonger (armering, betong exkl. tätskikt)                               | 50 år            |
| <b>Fasader</b>  |                  |
| Träpanel (byte)   | 40 år            |
| Träpanel (målning)  | 10 år            |
| Tegel   | Ej byte          |
| Puts - tjockputs 2cm (renovering/omputsning)                                    | 30 år            |
| Asbestcementplattor (eternitplattor)  | 30 år            |
| <b>Fönster/dörrar</b>   |                  |
| Isolerglasfönster (blir otäta med tiden)  | 25 år            |
| Byte fönster  | 40 år            |
| Byte dörrar (inne/ute)  | 35 år            |
| Målning fönster/dörrar  | 10 år            |
| <b>Installationer för vatten, avlopp samt värme</b>                             |                  |
| Avloppsledningar  | 50 år            |
| Värmeledningar kall-/varmvattenledningar  | 50 år            |
| Avloppstank   | 30 år            |
| Sanitetsgods (tvättställ, WC stol m.m.)   | 30 år            |
| Badkar  | 30 år            |
| Värmeväxlare  | 20 år            |
| <b>Övriga installationer och annan maskinell utrustning än hushållsmaskiner</b> |                  |
| T ex varmvattenberedare, elradiator, värmepanna (olja/el) inkl.                 | 20 år            |
| Expansionskärl  | 20 år            |

EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp



|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Luftvärmepump                     | 8 år  |
| <b>Ventilation</b>                |       |
| Injustering av ventilationssystem | 5 år  |
| Byte av fläktmotor                | 15 år |
| Styr- och reglerutrustning        | 20 år |

**EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

## Bilaga 5– Beräkningsexempel tilläggsisolering

Årlig energibesparing vid tilläggsisolering av ett vindsbjälklag

Genom att beräkna den årliga energiförlusten,  $E$  för tre olika städer i norra, mellersta och södra Sverige kan en tilläggsisolering av ett vindsbjälklag där endast sågspån används som isolering. Vindsbjälklaget antas ha trägolv under och ovan isolering och tjockleken på trägolvet är 2,5 cm tjockt. Syftet med exemplet är också att ge en bild av hur pass mycket det skiljer i energiförluster i olika delar av Sverige. Isoleringsåtgärden utvärderas med hjälp av:

$$E = Q_{tot} G_t$$

$Q_{tot}$  är den specifika effektförlusten för en byggnad och är i detta fall då isoleringsåtgärden beräknas och väggens olika konstruktion ska jämföras, lika med transmissionsförlusterna  $Q_{transmission}$ . Graddimmarna  $G_t$  för tre städer i norra, mellersta och södra Sverige tas som exempel från tabell (Warfvinge, *Projektering av VVS-installationer*, s. 4:3–4:29):

| Ort      | Normalårstemperatur [°C] | Graddimmor [°C h] |
|----------|--------------------------|-------------------|
| Arjeplog | – 0,5                    | 181 650           |
| Västerås | 5,9                      | 123 300           |
| Lund     | 7,9                      | 105 500           |

Det tas ingen hänsyn till gränseffekten här vilket innebär att gränstemperaturen är lika med inomhustemperaturen. Graddimmorna har därmed antagits för inomhustemperaturen 20 °C eftersom det är den inomhustemperatur som rekommenderas både för bostäder och för arbetslokaler för lätt arbete [2]. Transmissionsförlusterna beräknas med hjälp av;

$$Q_t = \sum U_j A_j$$

Den värmeöverförande arean  $A_j$  är ytan på vindsbjälklaget vilket antas vara 1 000 m<sup>2</sup>. Värmeledningstalet  $\lambda$  är för sågspån 0,08 W/m<sup>2</sup> °C och för mineralull 0,036 W/m<sup>2</sup> °C.  $\lambda$  för trä är 0,14 W/m<sup>2</sup> °C. Den termiska resistansen för 10 cm sågspån respektive 40 cm mineralull samt för 2,5 cm trägolv blir då:

$$R_{\text{sågspån}} = 0,10/0,08 = 1,25 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{mineralull}} = 0,4/0,036 = 11,1 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{trägolv}} = 0,025/0,14 = 0,18 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{si}} = 0,1$$

$$R_{\text{se}} = 0,04$$

Den totala termiska resistansen för materialskikten i ett tak med två lager trägolv med endast sågspån mellan: 1,87 m<sup>2</sup> °C/W

Den totala termiska resistansen för materialskikten i ett tak med två lager trägolv med både sågspån och mineralullsisolering: 12,85 m<sup>2</sup> °C/W

$$UA = \frac{1}{R_{total}} A$$

vilket ger att transmissionsförlusterna för de olika konstruktionerna blir:

Med endast sågspån som isolering: 535 W

Med både sågspån och mineralull som isolering: 77,8 W

Energiförlusterna genom konstruktionerna blir då med hjälp av:

$$E = Q_{tot} G_t$$

| Ort | Energiförlust, utan tilläggsisolering | Energiförlust, med tilläggsisolering |
|-----|---------------------------------------|--------------------------------------|
|-----|---------------------------------------|--------------------------------------|

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|                 | [kWh]  | [kWh]  |
|-----------------|--------|--------|
| <b>Arjeplog</b> | 97 182 | 14 132 |
| <b>Västerås</b> | 65 966 | 9 592  |
| <b>Lund</b>     | 56 442 | 8 208  |

Detta visar att den geografiska placeringen avgör hur stor förlusten blir, dock blir besparingen i energi av åtgärden lika stor för de olika orterna. Besparingspotentialen genom att tilläggsisolera med 40 cm mineralull för en konstruktion av detta vindsbjälklag är ca 14 %. Energimässigt och ekonomiskt skulle denna åtgärd innebära en årlig besparing på 85 % som i pengar då energipriset är 1 kr/kWh:

| <b>Ort</b>      | <b>Besparing</b> |
|-----------------|------------------|
| <b>Arjeplog</b> | 83 050           |
| <b>Västerås</b> | 56 374           |
| <b>Lund</b>     | 48 234           |

## Bilaga 6 – Byggnadens system Nore

Byggnadens befintliga system specificeras nedan. Typen av system specificeras samt ingående komponenter och användning med mera.

| Ventilation              |  |   |                               |
|--------------------------|--|---|-------------------------------|
| Typ                      | Komponenter  | Verksamhetstid/styrning   | Uppvärmning av tilluft        |
| <b>FTX-system (1993)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Radialfläktar (bakåtböjda skovlar)</li> <li>Plattvärmväxlare</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>CAV på undersökt yta</li> <li>VAV på lägre våningsplan</li> <li>Verksamhetstid: 05.30–18.00</li> <li>Temperaturgivare</li> </ul> | Fjärrvärme + VVX mot frånluft |

| Belysning              |  |  |  |
|------------------------|--|--|--|
| Typ                    | Placering/användning                                   | Styrning/verksamhetstid  | Antal/installerad effekt   |
| <b>T5-lysrör</b>       | Skrivbordsbelysning + placering även utanför skrivbord | Tidsstyrning 05.30-18.00 + manuell styrning  | Ca 100 st.: 1(upp) + 2(nedåt) á 28 W =<br>300 st. * 28 W = 8 400 W |
| <b>Lågenergilampor</b> | Allmän belysning + Ledljus                             | Dygnet runt  | 6* 12 st. á 18 W =<br>72 st. * 18 W = 1 296 W                      |
|                        |  | <b>Total installerad effekt:</b> 8400 + 1296 = 9 696 W<br><b>D-våning:</b> 7,0 W/m <sup>2</sup><br><b>E-våning:</b> 7,8 W/m <sup>2</sup> |  |

| Värme- och kylsystem |                                     |                      |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Typ                  | Distributionssystem                 | Antal                |
| <b>Fjärrvärme</b>    | Vattenburet: Radiatorer + luftburet |                      |
| <b>Fjärrkyla</b>     | Vattenburet: Kylbafflar             | Ca 50 st. per våning |

| Byggnadsdel                       |           | Material   |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
|-----------------------------------|-----------|--|------------|---------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------|------|---------------------------|
| <b>Vägg</b>                       | D-våning: | Tegel som yttervägg 1-stens  | Puts 20 mm | Glasfiberull 100 mm | Tegel ½-stens | Glasfiberduk + målning |                                   |                 |                     |      |                           |
|                                   | E-våning: | ½ stenstegel   |            | Rock Wool 100 mm    | 2 lager gips  |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
| <b>Yttertak</b>                   |           | <table border="1"> <tr> <td>Ytpapp <i>Derbigum</i> (lagt -97)</td> </tr> <tr> <td>Siporex, 200 mm</td> </tr> <tr> <td>Stålbalk ca 6 meter</td> </tr> <tr> <td>Luft</td> </tr> <tr> <td>200 – 300 mm slaggyllning</td> </tr> </table> |            |                     |               |                        | Ytpapp <i>Derbigum</i> (lagt -97) | Siporex, 200 mm | Stålbalk ca 6 meter | Luft | 200 – 300 mm slaggyllning |
| Ytpapp <i>Derbigum</i> (lagt -97) |           |  |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
| Siporex, 200 mm                   |           |  |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
| Stålbalk ca 6 meter               |           |  |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
| Luft                              |           |  |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |
| 200 – 300 mm slaggyllning         |           |  |            |                     |               |                        |                                   |                 |                     |      |                           |

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|                |  |   |
|----------------|--|---|
|                |  |   |
| <b>Grund</b>   | Källare, byggd på 40-talet som skyddsrum. Därefter omkringbyggande med tryckavlastande jordlager och betong. |   |
| <b>Fönster</b> | 3-glas isolerruta, öppningsbara med persienn<br>ca 1,5 m <sup>2</sup>  | Totalt antal fönster: 81st<br>Total yta: 121,5 m <sup>2</sup> |

## Bilaga 7 – Mall analys

Den undersökta byggnaden:

Byggår: .....

Undersökt byggnadsdel:.....

### Area

Våning 1:.....

Våning 2.....

### Rumstyper

Enskilda kontorsrum:.....

Landskap: .....

Allmänna utrymmen: .....

Annat:.....

Rumshöjd (innertak och ovan innertak): .....

Renoveringar/ändringar (årtal): .....

.....

.....

### Dagens system:

|           |  |         |                        |                  |
|-----------|--|---------|------------------------|------------------|
| Belysning | Hur sitter belysningen?(Allmänbelysning, skrivbordsbelysning, takbelysning/sidobelysning);<br><br>.....<br><br>..... |         |                        |                  |
|           | Styrning (närvarostyrning/frånvarostyrning, sensorer):.....<br><br>Verksamhetstid:.....                              |         |                        |                  |
|           | Antal totalt   | Antal i | Antal i enskilt kontor | Antal i allmänna |

**EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|                      |  |                 |  |          |
|----------------------|--|-----------------|--|----------|
|                      |  | kontorslandskap |  | utrymmen |
| <i>Glödlampa</i>     |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| <i>Halogen</i>       |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| Wattal:              |  |                 |  |          |
| <i>Lågenergi</i>     |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| <i>LED</i>           |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| Lumen:               |  |                 |  |          |
| <i>T5-lysrör</i>     |  |                 |  |          |
| Watt:                |  |                 |  |          |
| Watt:                |  |                 |  |          |
| <i>T8/T12-lysrör</i> |  |                 |  |          |
| Watt:                |  |                 |  |          |
| Watt:                |  |                 |  |          |
| Ventilation          |  |                 |  |          |
|                      |  |                 |  |          |

System:.....

Don:.....

Fläktar:.....

Antal fläktar:.....

Aggregat:.....

Värmeväxlare:.....

Reglering: CAV VAV

Styrning:.....

Frekvensomriktare: .....

Verksamhetstid:.....

Stängs det av/på vid vissa tidpunkter: .....

Ålder på  
system:.....

Givare (CO2/temp): .....

Värmekälla till tilluften:.....



|                |   |
|----------------|---|
|                | .....   |
| Värme och Kyla |   |
| Uppvärmning    | System:.....<br><br>Distributionssystem (vattenburet/luft):.....<br><br>Radiatorer(el/vatten): .....<br><br>..... |
| Kylning        | System: .....<br><br>Antal (bafflar t.ex.): .....<br><br>.....  |
| Klimatskal     |   |
| Väggar         | Uppbyggnad (Fasad, stomme, isolering, innervägg) Tjocklekar:  |
| Tak            | Uppbyggnad (Yttertak, stomme, isolering, innertak) Tjocklekar:  |

**EN1315**

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp

|         |  |
|---------|--|
|         |  |
| Grund   | Uppbyggnad:  |
| Fönster | Typ: .....<br>Antal: .....<br>Storlek: .....<br>Öppningsbara/ej<br>öppningsbara: .....<br>Solavskärmning: .....<br>..... |

## Bilaga 8 – Värmeledningstal för byggnadsmaterial

| Material                             | Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] | λ-värde [W/m, K] |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Betong                               | 2 300                         | 1,7              |
| Cellplast                            | 20                            | 0,036            |
| Cementbruk (Eternitskiva)            | 2 000                         | 1,2              |
| Fasadboard                           | 125                           | 0,033            |
| Tegel- och betonghålblock            | 1 300-1 700                   | 0,6              |
| Gips                                 | 800                           | 0,22             |
| Glas, fönsterglas                    | 2 500                         | 0,8-1,0          |
| Kalkcementbruk                       | 1 800                         | 1                |
| Kalksten/marmor                      | 2 700                         | 3                |
| Lättbetongblock                      | 450                           | 0,11             |
| Natursten: sandsten, (granit, gnejs) | 2 700                         | 2,4, (3,5)       |
| Plywood                              | 500                           | 0,13             |
| Puts                                 | 1 800                         | 1                |
| Spånskiva                            | 600                           | 0,14             |
| Stål (Plåt rostfritt)                | 7 800                         | 20               |
| Trä                                  | 500                           | 0,14             |
| Träfiberskiva                        | 1 000                         | 0,13             |
| <i>Isolermaterial</i>                |                               |                  |
| Kutterspån                           | 100-160                       | 0,08             |
| Sågspån                              | 140-220                       | 0,08             |
| Träull                               |                               |                  |
|                                      | 151-300                       | 0,075            |
|                                      | 301-350                       | 0,08             |
| Mineralull                           |                               |                  |
|                                      | 25-50                         | 0,033            |
|                                      | 25-80                         | 0,036            |
|                                      | 15                            | 0,039            |

### EN1315

Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp