

Energieffektivisering av skolbyggnad från 60-talet

Studie av Hållsta skola i Eskilstuna

Agnes Falck



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Energieffektivisering av skolbyggnad från 1960-talet

Energy efficiency improvements of a school building (from the 1960s) in Hållsta, Eskilstuna

Agnes Falck

In June 2006 the Swedish government decided that the use of energy in buildings should be reduced by 20 percent until 2020, compared to the level of energy used in 1995. To contribute to this goal, the real estate company “Eskilstuna Kommunfastigheter AB”, set up own goals for their buildings. In 2009, the goal for schools was to have a maximum energy use of 118 kWh/m²year for heating and hot water.

The school “Hållsta skola”, just south of Eskilstuna, exceeds the limit since it used 270 kWh in 2008. The school is heated by oil burners, which is not desirable since oil is a fossil fuel. The aim of this study was to identify cost effective measures for decreased energy use for heating and hot water in the school, and to find alternatives to the oil burners.

The school was built between 1963 and 1975 and consists of two buildings. The insulation in the roof, walls, windows and floor is poor and the ventilation is mainly performed without heat recovery. Measures including insulation of the roof, new windows, heat recovery in the ventilation system and more effective water taps were studied with Life Cycle Cost analysis (LCC) and Pay-off analysis. The energy use with and without the new performance was calculated with the building simulation program VIP+. If all of the economically favorable measures are carried out the total energy use would decrease to 167 kWh/m²year.

One of the alternatives to oil burners that were suggested is heat pumps. The two types of heat pumps studied, ground source or air source, were both found to be profitable, although the ground source heat pump would be slightly more profitable. In the calculations it was considered that an electric boiler would back up the heat pumps during cold days. With heat pumps, the energy bought for heating and hot water would be about 55 kWh/m²year, which is well below the goal of maximum 118 kWh/m²year.

Handledare: Michal Gustavsson
Ämnesgranskare: Arne Roos
Examinator: Kjell Pernestål
ISSN: 1650-8300, UPTEC ES 10 017



Sammanfattning

Riksdagen beslutade i juni 2006 att energianvändningen i bostäder och lokaler bör minska med en femtedel per uppvärmd ytenhet till år 2020. Detta har Eskilstuna Kommunfastigheter AB tagit fasta på och satt upp egna mål om minskning av energianvändningen i sitt fastighetsbestånd. I samband med en energideklaration av en fastighet; Hållsta skola, uppdagades en ovanligt hög energianvändning för värme. Detta gjorde den till ett intressant objekt för ett examensarbete rörande möjligheter till energieffektivisering. Byggnaderna värms dessutom med oljeeldning, vilket är mindre önskvärt sett utifrån den alltmer intensiva debatten om växthusgasernas påverkan på vårt klimat. Speciellt som Eskilstuna Kommunfastigheter AB:s mål angående oljeeldning är att den ska vara utfasad ur deras fastighetsbestånd till år 2010.

År 2009 var Eskilstuna Kommunfastigheter AB:s mål för skolor att energianvändningen för värme och vatten inte skulle överstiga 118 kWh/m²år, vilket Hållsta skola gjorde med sina 270 kWh/m²år. Däremot klarade skolan målet för elanvändningen med 67 kWh/m²år mot ambitionen 68 kWh/m²år som mest. Syftet med detta examensarbete var att ur en miljömässig, ekonomisk och komfortmässig synvinkel föreslå energieffektiviseringar rörande energianvändningen för värme och vatten på Hållsta skola. Dessutom föreslås möjliga alternativ till oljeeldningen.

Skolans lokaler består av två byggnader i ett plan, ursprungligen uppförda 1963 och tillbyggda 1975. De vilar på betongplattor direkt på mark och den totala arean på skolan är 1 670 kvadratmeter. Fasaden består omväxlande av tegel och trä, och taken är av typen pulpettak utan vindsutrymmen. Arbetet inriktades mot att finna åtgärder i klimatskalet och ventilationen, eftersom brister i dessa bedömdes vara orsaken till den stora värmeanvändningen. Klimatskalet visade sig vara bristfälligt med tunn isolering i väggar och tak och kopplade tvåglasfönstren med en lägre isolerförmåga än önskvärt. Ventilationen saknar fortfarande värmeåtervinning till stor del, även om en ett nytt aggregat med värmeåtervinning installerades i en del av skolan under våren 2009.

Ett antal åtgärder för att minska värmebehovet studerades, med det primära målet att finna ekonomiskt lönsamma åtgärder utifrån ett livscykelkostnadsperspektiv. Den möjliga energibesparingen beräknades genom att en modell av byggnaderna skapades i simuleringsprogrammet VIP+. Åtgärder rörande tak och ytterväggar visade sig olönsamma medan det fanns flera lönsamma alternativ för fönstren. Övriga lönsamma åtgärder var att minska drifttiden för ventilationen, installera ventilationsaggregat med värmeåtervinning där detta saknas och att installera snålspolande armaturer i tvättställen. Ett ”paket” med lönsamma åtgärder sattes ihop och detta skulle kunna minska värmebehovet till 167 kWh/m²år. I tabellen nedan redovisas de lönsamma åtgärderna och deras investeringskostnad, energibesparing i form av oljevolym samt minskade koldioxidutsläpp. För mer detaljerad redovisning hänvisas till respektive avsnitt i rapporten.

	Investering, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Fönster, ombyggnad till fasta fönster med isolerkasett	480 000	9,7	26,2
Ventilation, byte med möjlighet till behovsanpassning och värmewäxling	750 000	8,0	21,6
Lösullsisolering i del av tak	7 000	0,14	0,4
Byte till snålspolande armaturer i tvättställ	27 000	0,16	0,4
Om alla åtgärder genomförs	1 264 000	17,5*	47,3

* Om alla åtgärder genomförs samtidigt blir energibesparingen något mindre än summan av de enskilda åtgärderna, vilket beror på att energiflödena är beroende av varandra

Efter att åtgärdsförslaget satts ihop undersöktes möjligheten att byta ut oljeeldningen på skolan. Ett alternativ som undersöktes var att elda med bioolja, som är ett förnybart bränsle med liknande egenskaper som fossil eldningsolja. Eftersom det inte fanns något kostnadsförslag för biooljan kunde dock inga ekonomiska beräkningar genomföras. Det fanns dock gott om information för alternativet att installera en värmepump och beräkningar på två typer av värmepumpar genomfördes; bergvärmepump och luftvärmepump. De antogs utgöra baslast och täckas upp av en elpanna som topplast. Både alternativen visade sig ha nästintill lika stor investeringskostnad och kräva ungefär lika stor insats av el. De är båda lönsamma med god marginal, men eftersom luftvärmepumpen kräver större underhåll för att nå samma livslängd som bergvärmepumpen, ger bergvärmepumpen något större lönsamhet. I tabellerna nedan redovisas oljebesparingen samt det ökade elbehovet för varje värmepumpstyp, minskad mängd koldioxidutsläpp, åtgärdernas investeringskostnad, livscykelkostnadsbesparing (LCC) samt återbetalningstid.

	Investering, kr	Besparing olja, m ³ /år	Driftel kWh/år	Elpanna kWh/år	Ökad elanvändning totalt, kWh/år	Besparing CO ₂ , ton/år
Bergvärmepump	520 000	23,5	40 800	49 500	90 300	61,8
Luftvärmepumpar	550 000	23,5	51 600	36 900	88 500	61,9

Med ekonomiskt lönsamma effektiviseringsåtgärder samt installation av värmepump kan man få ner den köpta mängden energi för värme och vatten på Hållsta skola till cirka 55 kWh/m² och år, vilket är mycket väl under förvaltarens mål om maximalt 118 kWh/år.

Förord

Detta examensarbete har kommit till under hösten 2009 i samarbete med Ramböll i Eskilstuna som en avslutning på min utbildning till civilingenjör i energisystem vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet.

Jag vill rikta ett varmt tack till alla personer som varit inblandade i arbetet med denna rapport.

- Michael Gustavsson, Anders Geerd och Erik Sörbring med flera på Ramböll som har ställt upp med arbetsplats och utrustning, delat med sig av sin kunskap och tagit sig tid för att diskutera mina arbetsmetoder.
- Pär Karlsson, Jonas Billing, Tony Christiansen med flera på Eskilstuna Kommunfastigheter AB för att de har ställt upp med information och visat mig runt på skolan.
- Arne Roos på Uppsala Universitet för givande diskussioner.
- Alla nämnda och onämnda personer som jag har varit i kontakt med i mitt informations-sökande.

Sist men inte minst vill jag tacka mina nära och kära för allt stöd under uppsatstiden.

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE.....	1
1.3	UPPDRAGETS AVGRÄNSNINGAR.....	1
1.4	MÅLGRUPP.....	1
1.5	BYGGNADERS ENERGIBALANS.....	2
2	METOD	4
2.1	UPPBYGGNAD AV BYGGNADSSIMULERINGSMODELLEN.....	4
2.2	EKONOMI.....	5
2.3	KOLDIOXIDUTSLÄPP.....	7
3	SKOLAN	7
3.1	OLJE-, EL- OCH VATTENANVÄNDNING.....	8
3.2	KLIMATSKAL.....	12
3.3	INTERNVÄRME.....	14
3.4	VENTILATION.....	14
4	KORRIGERING AV BYGGNADSSIMULERINGSMODELLEN	17
5	ÅTGÄRDER	20
5.1	TAK.....	20
5.2	YTTERVÄGGAR.....	22
5.3	FÖNSTER.....	22
5.4	VENTILATIONEN.....	26
5.5	TAPPVARMVATTEN.....	28
5.6	SAMMANFATTNING AV ÅTGÄRDSFÖRSLAG.....	30
6	BYTE AV VÄRMEKÄLLA	31
6.1	BIOOLJA.....	31
6.2	VÄRMEPUMP.....	31
7	DISKUSSION	35
8	SLUTSATS	36
	REFERENSER	37
	BILAGOR	40
	I INDATA TILL SIMULERINGSPROGRAMMET VIP+.....	40
	II LCC-ANALYSER.....	48

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Riksdagen beslutade år 2006 att energianvändningen i bostäder och lokaler bör minska med en femtedel per uppvärmd ytenhet till år 2020 och dessutom ska beroendet av fossila bränslen för energianvändning inom bebyggelsen vara brutet samma år. Av den totala energianvändningen i Sverige år 2007 stod bostäder och lokaler för 30 % motsvarande 124 TWh. Av lokalerna värmdes cirka 3 % av ytorna med olja (Energimyndigheten, 2008). För att nå målen om minskad energianvändning räcker det inte att nya byggnader som uppförs är energisnåla, utan man måste studera det befintliga byggnadsbeståndet för att hitta möjliga energieffektiviseringsåtgärder.

Hållsta skola är en kommunal skola som ligger en mil söder om Eskilstuna. Då en energiexpert från Ramböll genomförde ett besök på skolan i samband med en energideklaration konstaterades att det finns behov av förbättringar bland annat i klimatskalet och ventilationen. Av alla skolor som Ramböll i Eskilstuna energideklarerat är Hållsta skola en av de största energislukarna per ytenhet. Dessutom värms lokalerna med oljeeldning.

Förvaltaren av Hållsta skola, Eskilstuna Kommunfastigheter AB, har som mål att minska energianvändningen i sina fastigheter, mätt i kWh/m² A_{temp},år. Med kvadratmeter A_{temp} menas den golvyta i temperaturreglerade utrymmen som är avsedda att värmas till mer än 10°C. ("Kvadratmeter A_{temp}" kommer härnäst att omnämnas som "kvadratmeter".) År 2009 var ambitionen vad gäller skolor att energianvändningen för värme och varmvatten inte skulle överstiga 118 kWh/m²år och elanvändningen skulle vara mindre än 68 kWh/m²år. Dessutom ska uppvärmning med olja vara borta år 2010 i samtliga fastigheter som Eskilstuna Kommunfastigheter AB äger eller förvaltar. Hållsta skola hade år 2008 en energianvändning för värme och varmvatten som nådde hela 270 kWh/m²år. Däremot klarade skolan målen för elanvändningen som år 2008 endast var 67 kWh/m²år. Hållsta skola ansågs vara ett relevant objekt för ett examensarbete med tanke på energianvändningen, oljeberoendet och den rimliga storleken på lokalerna, cirka 1 700 m². Målet var att finna kostnadseffektiva möjligheter till minskning av energianvändningen, samt att visa på alternativ till oljan.

1.2 Syfte

Detta examensarbete syftar till att ur en miljömässig, ekonomisk och komfortmässig synvinkel föreslå energieffektiviseringar rörande energianvändningen för värme och vatten på Hållsta skola. Dessutom ska möjliga alternativ till oljeeldningen undersökas.

1.3 Uppdragets avgränsningar

Detta examensarbete var begränsat tidsmässigt till 20 veckor och eftersom skolan har en relativt låg elanvändning men en hög oljeanvändning ansågs det relevant att avgränsa arbetet till att studera enbart värme och vatten. I detta arbete antogs att verksamheten på skolan även i fortsättningen skulle bedrivas på liknande sätt som det gjorde vid tidpunkten för undersökningen. Ingen av åtgärderna som föreslås kommer att påverka verksamheten på ett negativt sätt.

1.4 Målgrupp

Rapporten ska kunna användas som grund för planering av framtida åtgärder på Hållsta skola. Målgruppen för denna rapport är därför främst berörda personer på Eskilstuna Kommunfastigheter AB, men även andra personer med intresse av energieffektivisering.

1.5 Byggnaders energibalans

I Sverige är det för det mesta kallare ute än vad som är önskvärt inomhus, så för att få ett behagligt inneklimat måste värme tillföras byggnaden. För att hålla en jämn inomhustemperatur måste lika stor värmemängd tillföras byggnaden som lämnar byggnaden. Om värmeförlusten plötsligt ökar, kommer inomhustemperaturen att stiga och till slut åstadkoms ett nytt jämviktsläge med en högre inomhustemperatur. Det motsatta inträffar om värmeförlusten minskar. Om det istället är utomhustemperaturen som sjunker utan att något extra värmeförlust sker kommer temperaturen inomhus att sjunka. Alla temperatursvängningar sker med en viss tidsfördröjning eftersom det finns en buffertförmåga i byggnaden tack vare att värme kan lagras in i byggnadsdelarna och inventarierna.

Här följer en överblick över vilka tillskott och förluster av värme som sker i byggnaden. Figur 1 visar var värme försvinner ut ur byggnaden.

Tillskott

Värmekälla Värmekällan är det system vars uppgift är att aktivt värma byggnaden. Det kan vara en förbränningspanna där man eldar med exempelvis olja, ved eller pellets. Det kan också vara eldrift med en elpanna, direktverkande el eller värmepump. Ytterligare alternativ är en solfångare eller något som är vanligt i tätorter; fjärrvärme. Värmen distribueras till byggnadens alla delar genom ett distributionssystem till exempel via radiatorer eller via värmd ventilationsluft.

Intern värmealstring Värme från människor, belysning, datorer, hushållsmaskiner med mera kallas internvärme. Det är värme som tillförs byggnaden utan att huvudsyftet är uppvärmning. Vissa verksamheter alstrar så mycket internvärme att tillskottet blir för stort, och inomhustemperaturen stiger över önskvärd nivå, se rubriken ”Aktiv eller passiv kyla” nedan.

Solinstrålning Solens strålar värmer inomhusluften, antingen direkt via fönstren eller indirekt genom att värma byggnaden som i sin tur värmer luften.

Förluster

Klimatskalet Klimatskalet är en byggnads ytterhölje och består av golv, väggar, tak, fönster och dörrar. Ett sätt att ange hur bra en byggnadsdel är på att isolera mot värmeförluster är genom dess värmegenomgångskoefficient, även kallat U-värde. Enheten är W/m^2K vilket innebär att en byggnadsdel med U-värdet $1,0 W/m^2K$ släpper igenom 1 W per kvadratmeter då temperaturskillnaden är 1 grad och ju lägre U-värde, desto bättre isolerförmåga.

Ventilation För en god inomhusmiljö krävs god ventilation, vilket dock ger värmeförluster i och med att den varma luften (frånluften) som lämnar byggnaden ersätts med kallare luft (tilluft) utifrån. Tilluften kan antingen tas in kall direkt i byggnaden

och värmas av värmesystemet, eller så kan den förvärmas i ventilationsaggregatet. Ett sätt att minska förlusten är att installera en värmväxlare eller en värmepump som tar tillvara värmen i frånluften.

Avlopp

Värmen i det vatten som används till tvätt, dusch, disk, m.m. bidrar inte till uppvärmningen eftersom vattnet fortfarande är varmt då det rinner ut i avloppet. Man kan ta tillvara värmen i avloppet genom att installera en värmväxlare eller värmepump men det är inte helt okomplicerat och därför ofta dyrt.

Aktiv eller passiv kyla

I byggnader med stor intern värmealstring och/eller stora fönster som släpper in mycket sol, kan det bli för varmt inomhus trots att värmesystemet är avstängt. Då krävs det att värmen istället förs bort för att det inte ska bli för varmt inomhus. Kylningen kan vara passiv genom att man ökar ventilationsvolymen och tar in mer kallluft utifrån. Det fungerar endast om det är tillräckligt kallt ute och det finns också en gräns för hur mycket och hur kall luft man kan ta in för att det inte ska bli dragigt. Är det varmt ute krävs att luften dessutom kyls aktivt innan den tas in i byggnaden för att temperaturen inomhus ska minska. Kylningen kan ske via ett kylaggregat i ventilationssystemet eller aggregat placerade i rummen.



Figur 1. Illustration av värmeförlusterna i en byggnad. Modifierad bild från energimyndighetens hemsida 2009.

2 Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder som användes i arbetet, dels för att beräkna den eventuella energibesparingen för olika åtgärder, och dels för att utföra ekonomiska kalkyler.

Arbetet med denna rapport inleddes med en kartläggning av skolans båda byggnader vad gäller deras konstruktion samt tekniska system såsom ventilationen och förbränningspannorna. Detta skedde dels genom granskning av konstruktionsritningar och sparade protokoll från injustering av ventilationen och dels genom platsbesök, intervjuer med fackkunniga personer och mätning av ventilationsflöden. Den erhållna informationen användes som indata i ett simuleringsprogram för att skapa en modell av byggnaderna. För att få en verklighetstrogen modell jämfördes modellens energianvändning med den verkliga energianvändningen på skolan. Vissa korrigeringar krävdes för att få modellen representativ och då detta var gjort kunde modellen användas för att räkna ut olika åtgärders energibesparing. Åtgärdsförslagen arbetades fram genom litteraturstudier och intervjuer med fackmän och ekonomiska analyser gjordes för att avgöra vilka åtgärder som kan anses vara lönsamma.

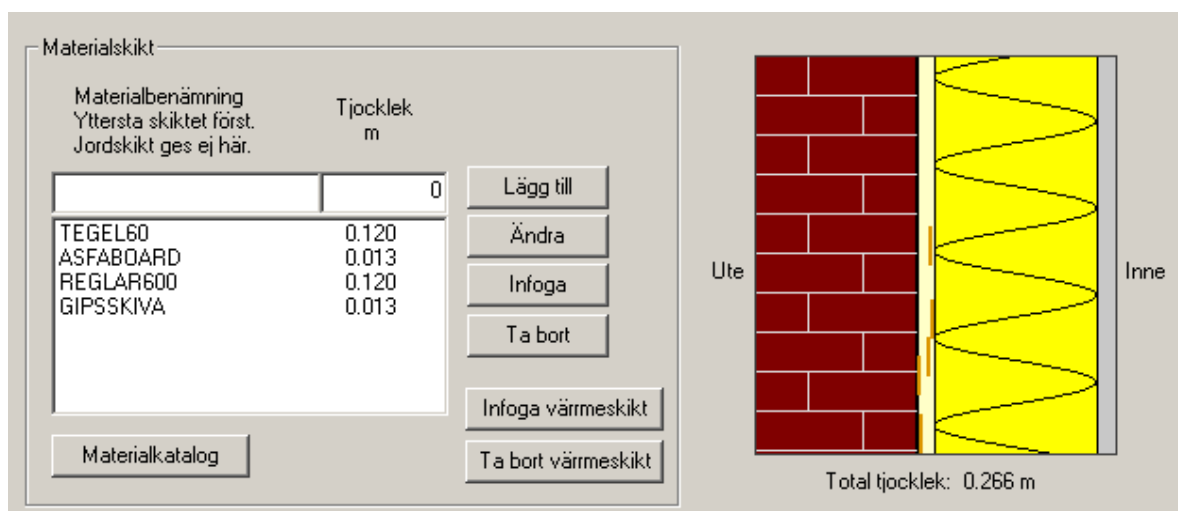
2.1 Uppbyggnad av byggnadssimuleringsmodellen

För att avgöra hur stor energibesparing en åtgärd kan bidra med, krävs beräkningar med ett flertal tidsberoende parametrar, såsom temperatur, solinstrålning och internvärme. För att underlätta beräkningarna kan ett simuleringsprogram användas där man skapar en modell av byggnaden. Till detta examensarbete valdes simuleringsprogrammet VIP+, eftersom det är lätthanterligt och uppfyllde behovet för examensarbetet.

Modellen skapas i VIP+ genom att alla byggnadsdelars area, orientering, U-värde, luftläckage, solljusabsorption och solljustransmission anges. Programmet kan vara behjälpligt med beräkning av U-värdet om man anger byggnadsdelens uppbyggnad med hjälp av en befintlig materialkatalog. Ett exempel på en ytterväggs uppbyggd i programmet finns i Figur 2. Till vänster i figuren väljs de material som ska ingå i väggen och till höger visas en illustration med de valda materialen. Verksamhets specifika data såsom ventilationsflöden, varmvattenbehov, inomhustemperatur och internvärme kan variera kraftigt under ett dygn beroende på hur många människor som vistas i lokalerna. Därför finns det möjlighet att skapa ett tidsschema där olika driftfall definieras under olika tider på dygnet.

Eftersom byggnadens energibalans beror på rådande klimat hämtas utetemperatur, solinstrålning och vindlast ur speciella klimatfiler, som motsvarar en viss ort. Det finns ett flertal större orter runtom i världen representerade som standard i programmet. Utöver detta kan önskade klimatfiler erhållas från SMHI. I detta examensarbete användes dock enbart standardfiler och eftersom Eskilstuna inte finns representerat valdes standardklimatfilen för Stockholm. Den skillnad i klimat som föreligger mellan städerna bedömdes vara tillräckligt liten för att den inte skulle påverka simuleringsresultaten mer än marginellt.

Då alla nödvändiga indata matats in genomförs simuleringen genom att alla energiflöden in och ut ur byggnaden summeras timme för timme. Önskade delar av simuleringsresultatet kan sedan plockas ut, till exempel värmebehov, kylbehov och elbehov. Programmet skapar egna tabeller och diagram för att redovisa simuleringsresultatet men det går också att exportera resultatet till en textfil och göra egna beräkningar och presentationer.



Figur 2. Uppbyggnad av en yttervägg i simuleringsprogrammet VIP+. Materialen är hämtade ur programmets materialkatalog till vänster och en illustration av väggen syns till höger i figuren.

2.2 Ekonomi

Definitionen på en energieffektiv åtgärd kan sägas vara en åtgärd som ger ett lägre energibehov än tidigare samtidigt som åtgärden inte kräver större resurser än vad som står i proportion till energibesparingen (Abel et al, 2006). Exempel på resurser är ekonomiska resurser och naturresurser. I viss mån kan man anta att en åtgärd med större anspråk på ekonomiska resurser också gör större anspråk på naturresurser och därför kan man använda den ekonomiska kostnaden som underlag då man ska bedöma om åtgärden är energieffektiv eller ej. I denna rapport är utgångspunkten att modeller som är ekonomiskt lönsamma också är energieffektiva. För att avgöra om en åtgärd är lönsam finns olika typer av kalkylmodeller och här nedan följer en beskrivning av de metoder som använts i denna rapport. De två första metoderna, Pay-off-metoden och LCC-analysen, är oberoende av varandra medan den tredje, besparingskostnadsmetoden, är en variant av LCC-analysen. Metoderna kan användas som komplement för att se vilken åtgärd som bör utföras i första hand. Ett viktigt påpekande är att alla kostnader i denna rapport är angivna exklusive moms.

2.2.1 Pay-off-metoden

Pay-off-metoden är den enklaste metoden för att bedöma en åtgärds lönsamhet. Den årliga besparingen tack vare minskade energikostnader samt eventuellt minskade underhållskostnader summeras och den tid som krävs för att de investerade pengarna ska ha sparats in kallas återbetalningstid. Se ekvationen nedan för matematiskt tillvägagångssätt.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Investeringskr}}{\text{Besparing energi och underhåll kr / år}}$$

Det investeringsalternativ som har kortast återbetalningstid anses vara det bästa eftersom pengarna snabbare kan användas till nya effektiviseringsåtgärder. Nackdelen med metoden är att den inte tar hänsyn till investeringens hela livslängd och därför vägs inte heller den totala besparingen tack vare åtgärden in i kalkylen. Metoden kan räknas med eller utan ränta, och i detta arbete används den senare varianten.

2.2.2 LCC-analys

LCC är en förkortning för "Life Cycle Cost" och metoden används liksom Pay-off-metoden för att bedöma vilken investering som är lönsammast. Skillnaden är att investeringens hela livslängd ligger till grund för beräkningarna och att framtida kostnader och besparingar diskonteras med den så kallade nuvärdesfaktorn till den kostnad de skulle motsvara om de betalades idag. Nuvärdesfaktorn beräknas enligt nedan.

$$\left(1 + \frac{r_k}{100}\right)^{-n}$$

r_k = kalkylränta

n = tidpunkt för transaktionen

Om man förutspår att energipriset kommer att öka med en viss procentsats per år utöver inflationen så minskar man kalkylräntan med lika många procentenheter i beräkningen. Detsamma gäller även för underhållskostnader, det vill säga att kalkylräntan ökas respektive minskas om underhållskostnaderna förutspås öka respektive minska.

Kalkylperiodens längd sätts till den förväntade livslängden för investeringen. Alla kostnader under kalkylperioden adderas till en total kostnad enligt följande (Jernkontoret, 2009):

$$\begin{aligned} LCC_{\text{tot}} &= \text{Grundinvestering} + LCC_{\text{energi}} + LCC_{\text{underhåll}} \\ LCC_{\text{energi}} &= \text{Energikostnad} \cdot \text{nuvärdesfaktorn} \\ LCC_{\text{underhåll}} &= \text{Underhållskostnad} \cdot \text{nuvärdesfaktorn} \end{aligned}$$

Investeringen jämförs med kostnaden för nollalternativet, det vill säga att behålla den nuvarande lösningen. Även nollalternativet kan vara förknippat med investerings- och underhållskostnader. Livslängden för nollalternativet förutsätts vara densamma som för åtgärden även om det skulle ha en kortare återstående livslängd än åtgärdens livslängd. Om åtgärden ger lägre total kostnad än nollalternativet är den lönsam enligt LCC-analysen. Detta tar inte lika stor hänsyn som Pay-off-metoden till nackdelen av att binda upp pengar, men en viss hänsyn tas ändå tack vare nuvärdesfaktorn. Med LCC-analysen kan man räkna ut vad den maximala kostnaden för en åtgärd får vara för att den ska kunna räknas som lönsam, det vill säga investeringsgränsen.

2.2.3 Besparingskostnad

Ordet besparingskostnad kan vara förvirrande eftersom det innehåller både ordet besparing och ordet kostnad på samma gång. Ambitionen är att besparingskostnaden ska visa hur stor investering man måste göra för att spara en kilowattimma och det är ett alternativt sätt att presentera en LCC-analys på. Boverket presenterar besparingskostnaden enligt följande: "Besparingskostnaden (kr/kWh) är ett åtgärdsförslags totala nuvärdesberäknade kostnad fördelat på den ekonomiska livslängden och antal sparade kWh/år. I beräkningen ska hänsyn tas till energiprisindex och intern kalkylränta. Besparingskostnaden jämförs sedan med aktuellt energipris, där ett lägre belopp för besparingen än för köpt energi per kWh, säger att det är billigare att effektivisera/spara energi än att köpa (Boverket, 2009)

I vissa fall blir besparingskostnaden negativ. Det inträffar då den totala nuvärdesberäknade kostnaden för investeringen och underhållet är lägre än den för nollalternativet, till exempel genom att underhållskostnaderna är mycket lägre för åtgärden än för nollalternativet. I de fall

då besparingskostnaden blir negativ ska resultatet tolkas som att den investering som har det största negativa värdet är den mest lönsamma investeringen.

2.2.4 Energipriser och kalkylränta enligt Eskilstuna Kommunfastigheter AB

I beräkningarna användes oljepriset 8 500 kr/m³ och elpriset 1,0 kr/kWh, enligt Eskilstuna Kommunfastigheter AB. De använder den nominella kalkylräntan 2,5 % för Hållsta skola, samtidigt som man antar en energiprisökning med 2 % per år utöver inflationen oavsett energislag. Däremot har de ingen regel för hur man ska hantera eventuella prisförändringar för underhåll och därför ansattes även här en ökning på 2 % per år utöver inflationen.

2.3 Koldioxidutsläpp

För att belysa den extra vinst en energibesparing innebär ur miljö- och resurssynpunkt kan man i LCC-analysen göra ett tillägg så att varje förbrukad kilowattimme genererar ett kostnadspålägg i kalkylen. Det är dock svårt att avgöra hur stort kostnadstillägget bör vara, så i detta arbete valdes istället att jämföra minskningen av koldioxidutsläppen för varje åtgärd. På skolan användes energibärarna olja och el och utsläppen från de båda kategorierna ses i Tabell 1. Eftersom oljan är en fossil energibärare genererar förbränningen ett stort tillskott av koldioxid till atmosfären. Elen har en mycket mindre miljöpåverkan eftersom den produceras i ett biobränsleeldat kraftvärmeverk av Eskilstuna Energi & Miljö AB.

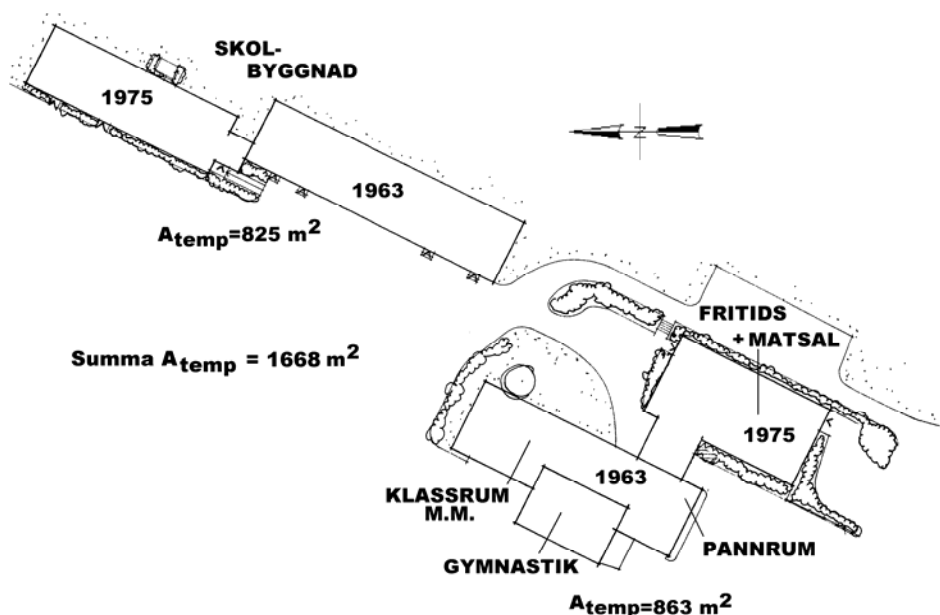
Tabell 1. Koldioxidutsläpp från energibärarna på Hållsta skola.

	CO ₂ /m ³	CO ₂ /kWh	Källa
Olja	2,7 ton	270 g	SPI, 2008
El	-	18,2 g	Sörbring, S

3 Skolan

I detta kapitel sker en genomgång av verksamheten på skolan, verksamhetens energi- och vattenanvändningen, byggnadernas utformning, intern värmealstring och ventilation.

Hållsta skola är en låg- och mellanstadieskola inklusive förskoleklasser och det finns även en



Figur 3. Situationsplan för Hållsta skola.

fritidsverksamhet för 6-9-åringarna. Det vistas runt 120 personer på området varje vardag. I Figur 3 syns en situationsplan för byggnaderna, som har den totala ytan 1 670 m². Observera att norriktningen är åt vänster i figuren. I skolbyggnaden finns sju klassrum och några utrymmen för personalen. I den andra byggnaden, som i rapporten fått benämningen fritidsdelen, finns fritidslokaler samt matsal, kök, personalrum, gymnastiksal och ett extra klassrum. Köket används inte längre som tillagningskök utan maten levereras varmhållen från ett äldreboende i närheten. Fritids öppnar klockan 06.30 och stänger klockan 18.00. Skoldagen börjar 08.10 och de sista klasserna lämnar skolbyggnaden runt 14.30. Cirka 80 barn avslutar sedan dagen på fritids. Lärarna sitter ofta kvar med planeringsarbete fram till 16.30 och då i huvudsak i respektive klassrum. Skolans öppettider följer skolåret medan fritidsverksamheten håller öppet året runt förutom under fyra sommarveckor i juli-augusti.

3.1 Olje-, el- och vattenanvändning

Eskilstuna Kommunfastigheter AB mäter varje månad användningen av el, olja och kallvatten på skolan. Elanvändningen rapporteras från elbolaget medan olje- och kallvattenanvändningen avläses manuellt varje månad.

3.1.1 Olja

För att kunna utesluta att den stora oljeanvändningen beror på brister i förbränningsanläggningen gjordes en inspektion på plats. Pannrummet är placerat i fritidsbyggnaden och en kulvert leder uppvärmt vatten till skolbyggnaden. Oljepannorna är två till antalet och har en effekt på 150 kW vardera varav den ena används som baslast och den andra som spetslast. Med detta menas att effektbehovet för det mesta täcks av baslastpannan medan spetslastpannan startas om effektbehovet blir för stort. Förbränningen regleras med utrustning från Micatrone och företaget kontaktades för att göra en uppskattning av anläggningens verkningsgrad. Under förutsättning att anläggningen sköts som den ska och sotas regelbundet bedömdes verkningsgraden vara så hög som 85 % (Holgersson, K., 2009). I rörledningarna som förser alla rum och ventilationsaggregat med värme uppstår dock värmeförluster, som i vissa fall inte kommer byggnaden till del, så verkningsgraden för hela värmesystemet överstiger sannolikt inte 80 %. En kubikmeter olja, vilken innehåller 10 000 kWh energi, bidrar således med 8 000 kWh värme till värmeanläggningen. Oljepannorna är avstängda under perioden juni till augusti, eftersom den låga lasten under dessa månader skulle ge en låg verkningsgrad för förbränningen, och istället värms varmvattnet med en elpanna.

De båda byggnaderna får samma framledningstemperatur på vattnet och en nackdel är att byggnaden med sämst energiprestanda sätter en undre gräns för framledningstemperaturen. Eftersom vattentemperaturen inte kan anpassas för de båda byggnadernas enskilda behov uppstår onödiga värmeförluster i den byggnad som hade bättre energiprestanda. Detta bedömdes dock ge en försumbar ökning av oljeanvändningen. Förbränningsanläggningen bedömdes fungera tillfredsställande och ansågs inte vara orsak till den stora energi-användningen.

För att längre fram i arbetet kunna göra en jämförelse mellan modellens energianvändning och den verkliga energianvändningen var det tänkt att använda den mångåriga statistik för oljeanvändningen som fanns tillgänglig. Denna statistik gick dock inte att använda vid jämförelsen eftersom det under våren 2009 skett en installation av ett nytt ventilationsaggregat med värmeväxling i skolbyggnaden. De tidigare aggregaten, som nu tagits ur drift, saknade värmeåtervinning och därför förväntades energianvändningen minska jämfört med tidigare år. (Mer information om det nya aggregatet står att läsa under rubrik 3.4 "Ventilation".) För att kunna göra jämförelsen med modellen krävdes nyare statistik för

oljeanvändningen. Endast några veckor av den nya uppvärmningssäsongen hade passerat då detta arbete påbörjades och för att kunna få fram information om oljeanvändningen dessa få veckor kontaktades i november 2009 Eskilstuna Kommunfastigheter AB. På grund av en långvarig sjukskrivning var dock dessa data inte tillgängliga. Efter två veckors väntan blev det nödvändigt att hitta en alternativ informationskälla och lyckligtvis hade en av fastighets-skötarna sparat fyra avläsningar från oljetanken under en treveckorsperiod i november. Mätperioden var kort vilket var vanskligt eftersom små avvikelser från det normala på skolan skulle ge ett stort genomslag om värmebehovet översattes till ett helt år. De tre veckorna ansågs dock vara mer representativa för det nya energibehovet än statistiken från tidigare år.

Värmebehovet i en byggnad är starkt beroende av utomhustemperaturen och för att eventuella avvikelser mot det normala under treveckorsperioden inte skulle påverka resultatet gjordes en klimatkorrigering enligt "graddagsmetoden" som föreskrivs av Boverket (Adalberth et al, 2008). En graddag är skillnaden mellan ortens medel-ute-temperatur under ett dygn och 17°C, som antas vara den temperatur som en byggnad måste värmas till eftersom den interna värmealstringen genererar ett tillskott på cirka 3°C.

$$\begin{aligned} \text{Graddagar} &= \sum(17-T_{\text{ute}}) \text{ då } T_{\text{ute}} < 17^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{ute}} &= \text{medel-ute-temperaturen under dygnet för den aktuella orten.} \end{aligned}$$

Därefter beräknas en korrektionsfaktorn, vilket är ett förhållande mellan aktuellt antal graddagar dividerat med det normala antalet graddagar under perioden:

$$\text{Korrektionsfaktorn} = \frac{\text{antal graddagar under aktuell period}}{\text{normalt antal graddagar under perioden}}$$

För att få fram den klimatkorrigerade användningen för den aktuella perioden divideras den uppmätta användningen med korrektionsfaktorn:

$$\text{Periodens klimatkorrigerade oljebehov} = \frac{\text{periodens oljeanvändning}}{\text{korrektionsfaktorn}}$$

För att avgöra ett helt års energibehov krävs först ytterligare en beräkning där den aktuella periodens del av det totala antalet graddagar under året bestäms:

$$\text{Periodens graddagsandel} = \frac{\text{normalt antal graddagar under perioden}}{\text{normalt antal graddagar under ett helt år}}$$

Hela årets klimatkorrigerade behov kan då bestämmas genom att dividera den aktuella periodens oljebehov med periodens graddagsandel.

$$\text{Klimatkorrigerat årsbehov} = \frac{\text{periodens klimatkorrigerade oljebehov}}{\text{periodens graddagsandel}}$$

Den delen av värmebehovet som varmvattnet utgör är inte klimatberoende och ska inte klimatkorrigeras, men eftersom det utgjorde en så liten del av värmebehovet på Hållsta skola

(max 3 %) kunde detta förbises vid korrigeringen. (Läs mer om vattenanvändningen under rubrik 3.1.3 "Kall- och varmvatten".) En datafil med den verkliga temperaturen för Eskilstuna under de tre veckorna i november beställdes från SMHI och motsvarande siffror för ett normalår hämtades från VIP+ klimatfil. I Tabell 2 finns en sammanställning av indata till beräkningarna.

Tabell 2. Data för klimatkorrigerig av avläst oljeanvändning.

		Källa
Oljeanvändning under perioden 1-23:e nov 2009:	3,3 m ³	Eriksson, S
Antal dagar under perioden	23 dagar	
Medeltemperatur i Eskilstuna under perioden:	5,0°C	SMHI
Normal medel-ute-temperatur under perioden:	3,5°C	VIP+ klimatfil
Normal medel-ute-temperatur under året	6,7°C	VIP+ klimatfil

Med värden enligt ovan blev beräkningarna som följer:

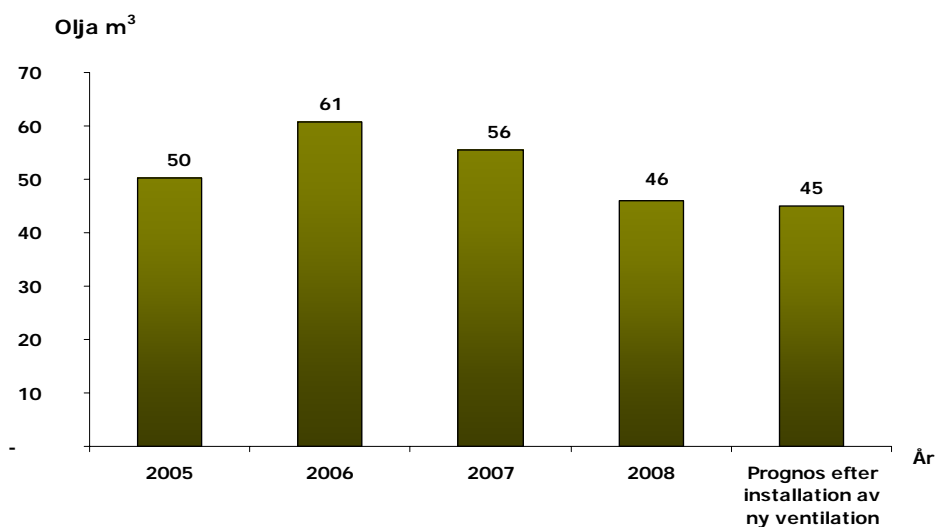
$$\text{Korrektionsfaktorn} = \frac{(17,0 - 5,0)^{\circ}\text{C} \cdot 23 \text{ dagar}}{(17 - 3,5)^{\circ}\text{C} \cdot 23 \text{ dagar}} = 0,89$$

$$\text{Periodens klimatkorrigerade oljebehov} = \frac{3,3 \text{ m}^3}{0,89} = 3,7 \text{ m}^3$$

$$\text{Periodens graddagsandel} = \frac{(17 - 3,5)^{\circ}\text{C} \cdot 23 \text{ dagar}}{(17 - 6,7)^{\circ}\text{C} \cdot 365 \text{ dagar}} = 8,3\%$$

$$\text{Klimatkorrigerat årsbehov} = \frac{3,7 \text{ m}^3}{8,3\%} = 45 \text{ m}^3 \text{ olja}$$

Slutsatsen blev att skolan efter installation av det nya aggregatet behöver cirka 45 m³ olja per år, det vill säga 270 kWh/m²år.



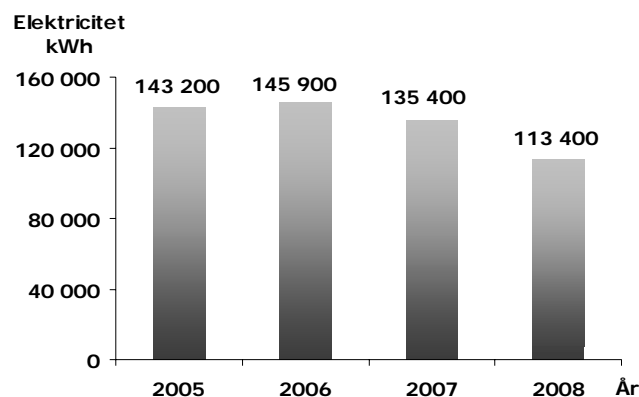
Figur 4. Klimatkorrigerad oljeanvändning på Hållsta skola år 2005 till 2008 samt det förutspådda behovet efter våren 2009 då ett nytt ventilationsaggregat med värmeväxling installerades.

I Figur 4 visas den klimatkorrigerade oljeanvändningen under de senaste åren på Hållsta skola. Man kan se att användningen varierar kraftigt mellan åren trots att siffrorna är klimatkorrigerade. Mellan 2005 och 2006 steg oljeanvändningen med 20 % för att sedan kraftigt sjunka under 2007 och sedan ytterligare under 2008. Det finns ingen självklar förklaring till variationen, men en spekulation är att ventilationens drifttider ändrats under åren, vilket styrks av det faktum att elanvändningen varierar på samma sätt som oljeanvändningen, se avsnitt 3.1.2 ”Elektricitet”. Eftersom det krävs elektricitet för drift av fläktarna i ventilationen innebär kortare drifttider en minskning av elbehovet.

Oljeanvändningen efter installation av det nya aggregatet med värmeväxling förutspåddes vara något lägre än de tidigare avläsningarna, vilket ju också var väntat. Eftersom den klimatkorrigerade avläsningen från treveckorsperioden visade på en oljeanvändning som var i samma storleksordning som tidigare år ansågs den vara en tillförlitlig källa då modellen senare skulle jämföras med verkligheten.

3.1.2 Elektricitet

På skolor används en stor del av elenergin till ventilation och belysning. En jämförelse med tre liknande skolor i kommunen visade att Hållsta skola har lägst elanvändning per kvadratmeter. Elanvändningen år 2008 var också lägre än förvaltarens mål på maximalt 68 kWh/m²år. Det gjordes ingen efterforskning om vilka möjligheter det finns att spara el på skolan, men ett vanligt råd är att stänga av datorer och belysning då skoldagen är slut. En rundvandring i skolbyggnaden vid stängningstid visade att de flesta datorerna var påslagna, men att belysningen var släckt.



Figur 5. Elanvändningen på Hållsta skola år för år 2005 till år 2008.

Som tidigare nämnts värms varmvattnet under sommaren med en elpanna men den el som åtgår bedömdes utgöra en försumbar del av hela årets elanvändning. I Figur 5 visas elanvändningen mellan år 2005 och 2008. Den varierar inte lika kraftigt som oljeanvändningen mellan år 2005 och 2007 men de små minskningar och ökningarna som sker synkroniserar med variationen i oljeanvändningen. År 2008 sjönk elanvändningen kraftigt men någon enskild förklaring till det har inte hittats.

3.1.3 Kall- och varmvatten

Det är endast volymen kallvatten som mäts, men eftersom en del av detta kallvatten värms till varmvatten i skolans värmeanläggning användes en schablon där 20 % av kallvattnet på skolan antogs värmas till varmvatten (Adalberth et al, 2008). Genom att vattenvolymen är känd kan man sedan räkna ut hur mycket energi som åtgår för att värma vatten enligt

ekvationen nedan. De värden som användes för att utföra ovanstående beräkning finns i Tabell 3.

$$Q_{\text{varmvatten}} = V_{\text{varmvatten}} \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot C_p$$

$Q_{\text{varmvatten}}$ = värmeenergin som åtgår till varmvattnet

$V_{\text{varmvatten}}$ = varmvattnets volym

ρ = vattnets densitet

ΔT = skillnad i temperatur mellan varm- och kallvatten

C_p = vattnets specifika värmekapacitet Ändra formatering

Tabell 3. Indata för beräkning av värme för varmvatten.

	Använt värde	Kommentar
$V_{\text{varmvatten}}$	20 % av 726 m ³	Vattenanvändningen år 2008
ρ	1000 kg/m ³	
ΔT	48°C	(55-7) °C
C_p	4,2 kJ/kg°C	

Med indata enligt tabellen ovan får vi

$$Q_{\text{varmvatten}} = 0,2 \cdot 726 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (55 - 7)^\circ\text{C} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ J}} \approx 8100 \text{ kWh}.$$

Energianvändningen för varmvatten är varje år cirka 8 100 kWh. I VIP+ måste värmeanvändningen för varmvattnet anges som en effekt per kvadratmeter golvyta. Med tanke på skolans verksamhet antogs den övervägande delen av varmvatten användas mellan 08.00 och 18.00 på vardagar, det vill säga 10 timmar per dag och 260 dagar per år. Effekten för varmvatten blev då

$$\text{Effekt}_{\text{varmvatten}} = \frac{8100 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}}{10 \frac{\text{h}}{\text{dag}} \cdot 260 \frac{\text{dag}}{\text{år}} \cdot 1668 \text{ m}^2} \approx 2,0 \text{ W / m}^2$$

Effektbehovet 2,0 W/m² för varmvattnet stämmer väl överrens med de standardvärden för skolor som finns angivet i VIP+.

3.2 Klimatskal

Klimatskalets uppbyggnad kartlades med hjälp av de konstruktionsritningar som finns att tillgå hos kommunen. År 1963 byggdes de första delarna av skolan, det vill säga den södra delen av skolbyggnaden och byggnaden med gymnastiksalen. År 1975 skedde en om- och tillbyggnad med det som idag är matsalen, fritids och den norra delen av skolbyggnaden. Alla byggnader är uppförda i ett plan och grunden är en betongplatta på mark. De nyare byggnaderna är uppförda i samma stil som de äldre, men isoleringen är något bättre tack vare de skärpta byggnormerna efter oljekrisen 1973. U-värdet för respektive byggnadsdel samt fönstrens solljustransmission bestämdes för den specifika konstruktionen, medan schablonvärden från VIP+ användes för luftläckage och solljusabsorption (VIP+ Manual, 2009)

3.2.1 Ytterväggar

I Figur 6 syns de båda fasadtyperna på skolan; trä och tegel. Den tjockaste isoleringen, 150 mm mineralull, har träfasaderna i de nyare delarna medan en del av tegelväggarna i de äldre delarna helt saknar isolering. För detaljerad information om väggarnas konstruktion se bilaga I.



Figur 6. Tegel- och träfasad på skolbyggnaden.

3.2.2 Golv

Grunden till golven utgörs av en betongplatta på mark med olika isolergrad och golvbeläggning. Vad beträffar den äldre byggnaden i fritidsdelen så är golvkonstruktionen olika för varje rum. Ett exempel är gymnastiksalsgolvet som är bättre isolerat än golvet i pannrummet. För mer information om golvkonstruktionerna, se bilaga I.

3.2.3 Fönster och dörrar

Av dörrarna på skolan är cirka hälften trädörrar och hälften metaldörrar med glaspartier. Alla fönster utom ett fåtal är av typen kopplade tvåglasfönster, det vill säga två rutor som går att ta isär för rengöring. U-värdet för fönster av denna typ ligger runt $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Adalberth et al, 2008). En stor del av fönstren är riktade mot öster och är försedda med markiser för solavskärmning, se Figur 7. Markiserna är justerbara så att de helt eller delvis täcker fönsterytan. Eftersom de sköts manuellt var det svårt att avgöra hur ofta de används, men personalen uppgav att de fälls ned så fort solen skiner under dagen. Fönstren i gymnastiksalen är permanent täckta av gardiner för att underlätta mörkläggnings och förhindra insyn från skolgården.



Figur 7. Markiser för solskydd på fönster med östlig riktning.

3.2.4 Tak

Taken på skolan är av typen pulpettak, det vill säga ett tak som lutar hela vägen från ena sidan av huset till den andra, se Figur 8. De är täckta av takpapp och relativt nylagda. Generellt sett är taken bristfälligt isolerade och maximal isolertjocklek är 170 mm mineralull. Det finns inga vindutrymmen eller liknande förutom på ett ställe vid gymnastiksalen där en lucka leder ner i ett utrymme för ventilationskanaler. Isoleringen ligger annars direkt mot yttertakets eller i ett undertak tillsammans med ventilationskanaler och vattenledningar.



Figur 8. Pulpettak täckt med papp på skolbyggnaden.

3.3 Internvärme

För interna värmelaster såsom datorer och värme från människor valdes schablonvärden för skolor från VIP+, nämligen 15 W/m² i verksamhetsenergi och 12 W/m² för personvärme (VIP+ Manual, 2009)

3.4 Ventilation

3.4.1 Ventilationen i skoldelen

Våren 2009 byttes frånluftssystemet i skolbyggnaden ut mot ett nytt till- och frånluftssystem med roterande värmeväxlare. På så sätt hoppades man få bukt med två problem; kalla och dragiga klassrum samt bristfällig och energikrävande ventilation. Tidigare fanns det frånluftsfläktar på taket och övervärd uteluft togs in via ventiler i klassrummen. Vid installationen av det nya aggregatet krävdes en del ombyggnad för att få till ett fläktrum. Tilluftsventilerna sattes igen och innertaket i korridoren måste bitvis göras om eftersom isoleringen var för tunn. Totalsumman landade på 1,2 miljoner kronor, varav runt 0,8 miljoner kronor kunde tillskrivas ventilationen. I och med det nya aggregatet ökade luftflödena i klassrummet till minst det dubbla jämfört med de flöden som angavs på gamla konstruktionsritningar. Trots detta borde värmebehovet minska tack vare värmeväxlarfunktionen och likaså borde det bli mindre dragigt eftersom tilluften förvärms. Däremot går det sannolikt åt något mer elenergi eftersom motståndet för fläktarna blir större med värmeväxling. För att kontrollera om den nya ventilationen är korrekt utförd gjordes en jämförelse med de krav som finns på ventilation och resultatet presenteras i Tabell 4. Det injusterade luftflödet stämmer i stort överrens med kraven förutom i personalrummet, där flödet är för lågt (Enberg, H., 2009).

Tabell 4. Den befintliga ventilationen i skoldelen jämfört med minimikrav på luftflöden.

Rum	Yta m ²	Antal personer	Tilluftflöde minimikrav l/s	Injusterat luftflöde l/s
Klassrum	56	25	195	224
Klassrum	56	25	195	227
Klassrum 72	58	25	195	223
Klassrum 67	58	25	195	215
Klassrum 62-63	58	25	195	216
Klassrum 56	58	25	195	218
Klassrum 51	58	25	195	214
Grupprum 7 st	14	4	33	40
Personalrum	40	-	200	116
Kansli/rektor/kopiering	29	3	40	35
Korridor	36	-	13	40
Skolsköterska	8	2	17	42
Musikrum	18	4	34	31
Summa			1900	2081

Totalt är det injusterade till- och frånluftflödet 2080 l/s vardera, vilket motsvarar cirka tre omsättningar per timme. Drifttiden är 07.30 till 16.00 alla vardagar. På kvällar och nätter är aggregatet helt avstängt, men det kan startas via en knapp i personalrummet och det uppskattades att denna funktion förlänger drifttiden med cirka 30 minuter per vardag i

genomsnitt. Enligt produktbladet ligger temperaturverkningsgraden på själva ventilationsaggregatet på 75 % och i simuleringen sattes verkningsgraden till 70 % för att täcka in förluster i exempelvis ventilationskanaler.

3.4.2 Ventilationen i fritidsdelen

Att få grepp om ventilationen i fritidsdelen visade sig, efter åtskilliga veckors efterforskning, vara svårare än väntat. Bristen på uppgraderade ritningar och mätningar gjorde att ett ”detektivarbete” fick inledas. Drifttiderna var däremot lätta att fastställa eftersom dessa i de flesta fall fjärrstyrs från huvudkontoret. Ventilation i fritidsdelen tillgodoses genom flera aggregat varav de flesta är separata till- och frånluftsfläktar och endast två av aggregaten har värmeåtervinning. I ett första försök till att kartlägga ventilationen studerades protokoll från den obligatoriska ventilationskontrollen (OVK) från 2007 samt ritningar och protokoll från injustering av ventilationen, men på grund av att dessa gav otillräcklig information gick det inte att skapa en enstämmig bild. För att få klarhet gjordes ett antal besök på skolan tillsammans med sakkunniga konsulter från Ramböll, med syfte att mäta ventilationen. Detta visade sig dock endast möjligt för några av aggregaten. För att få fram det totala luftflödet skulle det krävas mätning av samtliga till- och frånluftsdon i hela huset, men detta genomfördes inte eftersom det ansågs för vara för tidskrävande och dessutom ge osäkra mätresultat. I de fall det inte gick att mäta flödena användes den information som fanns att få från protokoll och ritningar.

3.4.3 Mätningar

För att mäta luftflödena från ett ventilationsaggregat kan man göra en så kallad kanalmätning då man mäter hastigheten på luften i en ventilationskanal och multiplicerar den med kanalens area i snittet. Mätningarna ska utföras så långt från en förändring av kanalens form eller riktning som möjligt eftersom den turbulens som skapas vid böjen ger en osäker mätning. Det finns en tumregel som säger att mätningen ska utföras där flödet löpt oförändrat minst tre gånger så lång sträcka som diametern på själva kanalen (Malmberg, K., 2009).

Om det finns ett injusteringsspjäll kan man göra en mätning av tryckförändringen över spjället istället för att mäta lufthastigheten. Ett injusteringsspjäll är ett spjäll som kan vridas till olika öppningslägen för att balansera luftflödena i ett ventilationssystem. Olika öppningslägen motsvarar olika k-faktorer som sedan används i ekvationen nedan. Även här gäller regeln om oförändrad riktning på rören före mätpunkten.

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \text{ där}$$

Q = flödet i l/s,

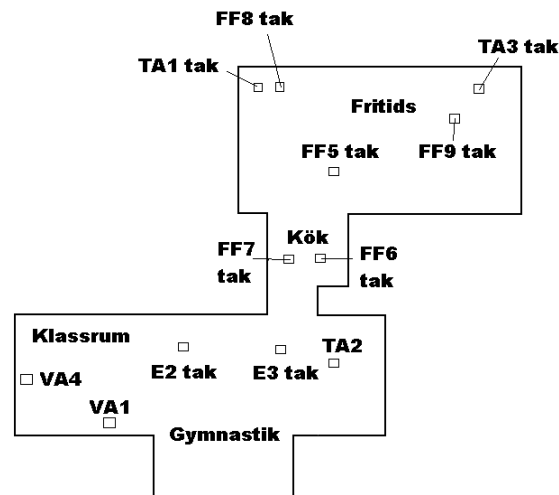
k = den så kallade k-faktorn

ΔP = tryckskillnaden i Pascal.

Som tidigare nämnts innebar mätningen av ventilationen en hel del svårigheter, bland annat på grund av bristfälliga ritningar, men framförallt på grund av att det inte finns några lämpligt utformade kanaler att mäta i. I fritidsdelen finns tre tilluftsaggregat, sju frånluftsaggregat och två aggregat som ger både till- och frånluft. Tilluften värms med varmvatten från värmesystemet. I Figur 9 syns en ritning över aggregaten i fritidsdelen. där beteckningen TA står för tilluftsaggregat, FF för frånluftsfläkt, E för evakueringsfläkt (frånluft) och VA för ventilationsaggregat (både till och frånluft). Alla frånluftsfläktar, liksom aggregat TA2, sitter oländigt till uppe på taket och en mätning av flödet genom dessa var inte möjligt. Även aggregat TA1 och TA3 satt uppe på taket men på dessa gick det däremot att utföra en kanalmätning. Eftersom tilluften från aggregat TA1 och TA3 enligt ritningar balanseras av

frånluftsaggregat FF5, FF8 och FF9 gjordes antagandet att frånluftsflödena är lika stora som de uppmätta tilluftsflödena.

Aggregat VA1, som försörjer gymnastiksalen, har en värmeväxlarfunktion med namnet heatbank, vilket innebär att ett köldmedium förångas och kyls av allteftersom det tar upp och avger energi. Luftflödena bestämdes både genom kanalmätning och mätning på spjället och slutsatsen blev att till- och frånluftsflödet vid lågfart är runt 200 l/s och vid högfart 500 l/s. Verkningsgraden på återvinningen bestämdes med en mätning till max 50 % vid lågfart och max 40 % för högfart.



Figur 9. Ritning över ventilationsaggregaten i fritidsdelen. Beteckningen TA står för tilluftsaggregat, FF för frånluftsfläkt, E för evakueringsfläkt (frånluft) och VA för ventilationsaggregat (både till och frånluft).

3.4.4 Protokoll och produktinformation

Eftersom det inte gick att mäta alla flöden fick den resterande informationen hämtas från OVK-protokoll, injusteringsprotokoll och produktinformation. Intill gymnastiksalen ligger omklädningsrummen med varsin evakueringsfläkt E2 och E3. Hur flödena balanseras kom aldrig till klarhet, men en möjlighet är att tilluften tas in via otätheter i byggnaden. Köket på skolan är inte längre ett tillagningskök och maten kommer i värmeskåp från ålderdomshemmet i närheten. Enligt ett injusteringsprotokoll från en ombyggnad år 2005 tas luften från diskrummet ut via frånluftsaggregat FF7 och det finns också två spiskåpor där frånluften leds ut till FF6. Tilluften kommer från aggregat TA2.

Aggregat VA4 är ett rumsaggregat av typen Compact air, vilken är vanlig på skolor och där värmeåtervinningen sköts av en roterande värmeväxlare. Displayen indikerade "normaldrift" vid besöket, vilket med hjälp av ett instruktionshäfte från tillverkaren kunde tolkas som 180 l/s med en verkningsgrad på cirka 75 % (PM-luft, okänt år). Aggregatet är inte uppkopplat på fjärrstyrning och drifttiderna kunde inte avläsas på displayen, men i instruktionshäftet rekommenderas att flödena sänks till 80 l/s på natten. Eftersom inget talade emot att aggregatet skulle vara inställt på det sättet antogs en nattsänkning mellan 20.00 och 08.00. Rumsaggregatet är inte heller anslutet till varmvattenkretsen och något elektriskt värmebatteri är inte standard för produkten. Det innebär att tilluftstemperaturen vid låga utomhustemperaturer, runt -5°C eller lägre, inte når tillfredsställande 17°C och det kan lösas genom att tilluftsflödet stryps något medan frånluftsflödet förblir konstant. Värmen i frånluften räcker då till för att värma tilluften så att det inte blir för dragigt intill aggregatet. Den

resterande luften tas in från otätheter i klimatskalet och sprids jämnare i rummet så att draget inte blir lika tydligt. Detta ger dock ingen energibesparing eftersom resterande värme måste tillföras via radiatorerna.

3.4.5 Sammanställning av ventilationen

I Tabell 5 ses en sammanställning av ventilationsflödena i de båda byggnaderna.

Tabell 5. Sammanställning av ventilationsflöden på Hållsta skola 2009.

	Betjäna	Luftflöde [l/s]	Källa	Drifttid	Värme- växling
Tilluft					
LA1	Skolbyggnaden	2080	Injusteringsprotokoll 2009	07:30-16:00	70 %
TA1	Matsal	650	Injusteringsprotokoll 2005	06.30-18.00	-
TA2	Kök	290	Injusteringsprotokoll 2005	06.30-16.00	-
TA3	Fritids	128	Mätning	06.30-18.00	-
VA1 högfart	Gymnastik	500	Mätning	08.00-14.00	40 %
VA1 lågfart		200	Mätning	14.00-20.00	50 %
VA4 högfart	Extra klassrum	180	Produktblad	08.00-20.00	75 %
VA4 lågfart		80	Produktblad	20.00-08.00	75 %
Frånluft					
LA1	Skolbyggnaden	2080	Injusteringsprotokoll 2009	07:30-16:00	70 %
E2,E3	Omklädning	308	OVK	08.00-20.00	-
FF5/FF8	Matsal	650	Antas balansera tilluft	06.30-18.00	-
FF6/FF7	Kök	375	Injusteringsprotokoll 2005	06.30-16.00	-
FF9	Fritids	128	Antas balansera tilluft	06.30-18.00	-
VA1 högfart	Gymnastik	500	Mätning	08.00-14.00	40 %
VA1 lågfart		200	Mätning	14.00-20.00	50 %
VA4 helfart	Extra klassrum	180	PM-luft produktblad	08.00-20.00	75 %
VA4 lågfart		83	PM-luft produktblad	20.00-08.00	75 %

4 Korrigering av byggnadssimuleringsmodellen

I detta kapitel beskrivs de korrigeringar som gjordes av VIP+ för att erhålla en mer verklighetstrogen modell.

Efter att all information om skolans byggnader samlats in kunde en fullständig modell skapas i simuleringsprogrammet VIP+. När simuleringen genomförts visade det sig att modellen indikerade en energianvändning som var 25 % lägre än det verkliga energibehovet på skolan. Det blev därför nödvändigt att göra justeringar av flera indata i simuleringarna för att få en mer verklighetstrogen modell.

<i>Inomhustemperatur</i>	Olika delar av byggnaderna håller olika inomhustemperatur. Då många barn vistas på ett och samma ställe stiger temperaturen, medan utrymmen som stått tomma länge är svalare. Detta gjorde det svårt att avgöra den mest representativa inomhustemperaturen i simuleringsprogrammet. Riktlinjen från Kommunfastigheter AB är att hålla en maximal inomhustemperatur om 20°C. På skolan finns det dock många rum med hög takhöjd där den varma luften samlas och temperaturskillnaden mellan golv och tak kan vara flera grader. En mer representativ temperatur i simuleringarna bedömdes därför vara 21°C.
<i>Lufttäthet</i>	Det värde som först användes för luftläckaget, 1,6 l/sm ² vid 50 Pa övertryck, var ett exempel på lämpliga värden i manualen till VIP+. Enligt SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, får man ofta resultatet 2,0 l/sm ² när man mäter i äldre hus, och det ansågs därför motiverat att ändra luftläckaget till SP:s mätresultat (Sandberg et al, 2007)
<i>Fönster</i>	U-värdet för kopplade tvåglasfönster ligger enligt facklitteraturen runt 2,7 W/m ² K, (Adalberth et al, 2008). Fönstren på Hållsta skola har dock en ovanligt stor luftspalt mellan glasrutorna, mer än 10 centimeter, och det gör att förlusterna på grund av konvektion, det vill säga att luften rör på sig mellan glasen, blir större än för ett fönster med normalstor spalt som endast är några centimeter. U-värdet höjdes därför i modellen till 2,8 W/m ² K.
<i>Tak</i>	Efter 40 år är det sannolikt att den isolering som lagts i väggar, tak och golv inte längre är lika luftig som den var vid byggnationen, eftersom den kan ha sjunkit ihop eller blivit fuktskadad. Speciellt i taket kan isoleringen ha skadats på grund av arbeten med rör och kablar. I modellen kompenseras för detta genom att minska takets isolertjocklek med 10 %.
<i>Ventilation</i>	Eftersom det var omöjligt att fastställa de exakta ventilationsflödena kunde ventilationen utgöra en stor felkälla i modellen. Eftersom flera mätresultat och uppskattningar avrundats nedåt fanns en misstanke om att flödena i verkligheten är större än de i Tabell 5. Dessutom sker det en luftväxling via dörrar och fönster då människor passerar in och ut samt öppnar fönstren för att få extra vädring. För att kompensera för detta lades det till ett extra ventilationsflöde på 100 l/s i modellen.

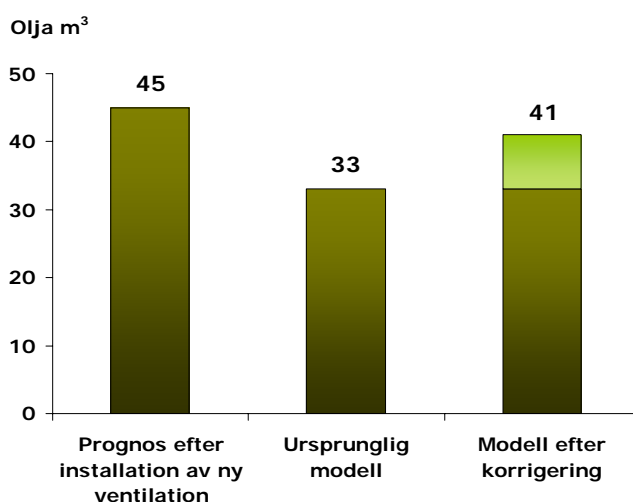
Värmeanläggningen

Modellens värmeanvändning i kWh räknades om till ett antal kubikmeter olja för att den skulle kunna jämföras med det verkliga värmebehovet. Verkningsgraden för oljepannorna bedömdes av en person på företaget Micatrone, som levererat styrutrustningen, till 85 % vilket sänktes till 80 % för att ta hänsyn till förluster i rörledningar med mera. Dessa höga verkningsgrader skulle dock kräva ett system som fungerar felfritt och verkningsgraden skulle snabbt bli sämre om pannan exempelvis inte sotas under en period. För att inte överskatta verkningsgraden sänktes den till 75 % för värmesystemet.

I Tabell 6 visas skillnaden i oljeanvändning för varje justering i modellen. Efter dessa justeringar var modellens oljeanvändning 41 m³ olja per år. Det är något lägre än den spådda användningen på 45 m³ efter ombyggnaden, men ändå inom tio procents felmarginal. Den lägre oljeanvändningen i modellen ger en viss marginal då olika åtgärder beräknas, varför det inte ansågs nödvändigt med fler justeringar. I Figur 10 visas oljeanvändningen enligt modellen före och efter korrigeringar samt den verkliga oljeanvändningen

Tabell 6. Ökad oljeanvändning för varje justering av modellen

Korrigeringspost	Ökad oljeanvändning m ³
Inomhustemperatur	2,9
Lufttäthet	0,6
Fönster	0,5
Tak	0,5
Ventilation	1,1
Värmeanläggning	2,6



Figur 10. Den ursprungliga modellen hade en alltför låg energianvändning och ett antal justeringar krävdes för att skapa en mer verklighetstrogen modell. Stapel längst till vänster visar en prognos för skolans energianvändning efter installation av den nya ventilationen i skoldelen. Stapeln i mitten och till höger visar modellens energianvändning före och efter justering.

5 Åtgärder

I detta kapitel redovisas de energieffektiviseringsåtgärder som studerades. Det rör sig om förbättringar i tak, väggar, fönster, ventilation och armaturer i tvättställ. Åtgärderna jämförs med avseende på livscykelkostnad, besparingskostnad, återbetalningstid samt minskning av energi- och koldioxidutsläpp. Alla energibesparingar anges i primär energi, det vill säga att oljepannornas verkningsgrad inräknats, och för att undvika missförstånd rörande detta anges alla energibesparingar för värme i form av oljevolym. Besparingar rörande elektricitet anges däremot i kWh.

Byggnadernas stora oljeanvändning beror på ett undermåligt klimatskal och ett delvis gammalt ventilationssystem utan värmeåtervinning. På grund av byggnadernas långsmala form är klimatskalets yta stor i förhållande till antalet kvadratmeter golvyta och detta kan inte ändras med mindre att byggnaderna rivs för att byggas upp med en annan utformning. Däremot kan man förbättra befintligt klimatskal så att värmeförlusterna minskar. De delar av klimatskalet som studerades i detta arbete var ytterväggar, tak och fönster men inga närmare studier av golv och ytterdörrar genomfördes. Att tilläggsisolera golvet dömdes ut som olönsamt eftersom energibesparingen skulle bli blygsam till kostnad av en stor arbetsinsats med att lägga om golven och ta upp högre dörrposter. Ytterdörrarna av metall har förvisso tunn isolering men det bedömdes enbart vara lönsamt att byta dem mot mer välisolerade ytterdörrar om de ändå måste bytas ut på grund av åldersslitage. Hälften av metallytterdörrarna är relativt nyligen utbytta mot likadana tunt isolerade dörrar och det rekommenderas att man vid byte av resterande dörrar prioriterar nya med lägre U-värde.

5.1 Tak

Isoleringen i taket skulle behöva kompletteras eftersom den är för tunn. Ett besök på taket under en regnig dag visade tydligt att det läcker mer värme än önskvärt genom taket. Det var torrt på flera ställen trots ihållande regn, se Figur 11. De mörka partierna är fuktiga medan de ljusa partierna, som uppstått runt takets högsta punkter, är torra.



Figur 11. Taket på fritidsbyggnaden. Trots regnet är taket vått på en del ställen, vilket berodde på värmeläcket genom taket.

Tilläggsisolering av tak är en åtgärd som vanligtvis är lönsam, men på grund av takkonstruktionen skulle det bli mycket kostsamt på Hållsta skola. I många rum finns det inget utrymme mellan yttertak och innertak där den extra isoleringen kan läggas. På de ställen där det finns ett undertak ligger isoleringen ovanpå rördragningar för ventilation och varmvatten. Bevisligen går det att tilläggsisolera dessa delar eftersom det gjorts tidigare; i och med att ventilationen i

skolbyggnaden byggdes om utfördes en tilläggsisolering av undertaket. Isoleringen hade skadats vid tidigare arbeten i taket vilket hade skapat problem med frusna vattenledningar. Arbetet utfördes genom att en person klättrade omkring i undertaket och släpade med sig isoleringsmattor vilket gav resultatet 10-15 cm ny isolering. Att tilläggsisolera hela taket på detta sätt är dock mycket tidskrävande och det skulle sannolikt vara olönsamt på de ställen där isoleringen är intakt.

5.1.1 Lösullsisolera del av taket

En liten del av taket, cirka 30 m², vid gymnastiksalen skulle kunna isoleras med lösull eftersom det har ett ordentligt undertak. Isoleringen i detta utrymme är nedtrampat på grund av arbete med ventilationskanalerna i taket, se Figur 12, vilket ytterligare motiverar en komplettering av isoleringen. Det finns ett likadant utrymme på andra sidan om gymnastiksalen, men detta saknar lucka och är inte åtkomligt. Tilläggsisolering med 400 mm lösull i den skadade delen skulle kosta cirka 120 kr/m² (Adalberth et al, 2008) men eftersom det är ett litet arbete skulle priset sannolikt bli det dubbla, det vill säga 7000 kr för hela utrymmet. I Tabell 7 redovisas de ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna efter åtgärden. Eftersom det föreligger en risk att isoleringen återigen blir skadad om ytterligare arbeten måste utföras med ventilationskanalerna, sattes kalkylperioden till endast 15 år. Trots den korta kalkylperioden är åtgärden lönsam, men samtidigt ger den en relativt liten energibesparing.



Figur 12. Skadad isolering i del av taket vid gymnastiksalen.

Tabell 7. Sammanställning av ekonomi och energibesparing för lösullsisolering i del av tak.

	Investering, kr	LCC-besparing, kr, 15 år	Återbetalningstid, år	Besparingskostnad kr/kWh	Investeringsgräns, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Lösullsisolering -del av tak	7000	10 000	6,0	0,36	17 000	0,14	0,4

5.1.2 Åtgärda hela taket

Om man vill göra något åt hela taket kan ett sätt vara att tilläggsisolera det ovanifrån genom att riva bort den befintliga takpappen och råsponten och sedan lägga till regler som gör utrymmet större. Detta fylls med extra isolering och man spikar en ny råspont och lägger ny takpapp. Dessutom krävs nya plåtgarningar för takfoten. I och med att taket blir tjockare ändras byggnadens utseende vilket sätter en gräns för hur tjock isolering som kan läggas till. I kalkylen användes en isolering med tjockleken 170 mm (Eriksson, A). Kostnaden skulle totalt bli cirka 1 400 000 kr (Sektionsfakta®-ROT 08/09).

På grund av att åtgärden är kostsam är den inte lönsam, vilket visas i Tabell 8. Återbetalningstiden är längre än åtgärdens livslängd, och den utgör en kostnad istället för en besparing. Inte ens om den genomförs i samband med att takpappen läggs om är den lönsam, eftersom att merkostnaden för tilläggsisoleringen ändå skulle överstiga investeringsgränsen.

Tabell 8. Sammanställning av ekonomi och energibesparing för tilläggsisolering i hela taket.

	Investering, kr	LCC-besparing, kr, 40 år	Återbetalningstid, år	Besparingskostnad kr/kWh	Investeringsgräns, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Åtgärda hela taket	1 400 000	-514 000	57	1,33	915 000	3,0	8,1

5.2 Ytterväggar

Eftersom ytterväggarna i bästa fall har en tunn isolering men också bitvis saknar isolering är en tilläggsisolering önskvärd. Det är dock svårt rent praktiskt att isolera i efterhand. Att tilläggsisolera väggarna utifrån är kostsamt och det skulle också innebära att fasadens utseende ändras. Om väggarna tilläggsisoleras från insidan skulle rummets yta bli något mindre, och dessutom skulle det kunna uppstå problem med fukt. Inomhusluften är varm och kan bära större mängd vattenånga än den kalla utomhusluften. Om vattenången tar sig ut i fasaden, på grund av luftläckage eller diffusion, kommer den att kylas av och kondensera, med eventuella fuktskador som följd. En fuktspärr av exempelvis papp eller plast hindrar ångan från att läcka ut till de kalla delarna av väggen. Vid tilläggsisolering inifrån kommer fuktspärren att relativt sett hamna längre ut i väggen och det kan därför inträffa att fukten hinner kondensera innan den når fuktspärren. Detta måste undvikas, men det går inte att göra genom att lägga till ytterligare en fuktspärr. Den fukt som tar sig förbi den första fuktspärren skulle då låsas in mellan skikten istället för att vädras ut ur konstruktionen.

På Hållsta skola skulle det vara möjligt att tilläggsisolera fasaden utifrån på de ställen där den består av trä, eftersom brädorna ändå måste bytas runt vart 30:e år (Adalberth et al, 2009). Tyvärr vore detta sannolikt lika olönsamt som att tilläggsisolera taket utifrån, eftersom det är ett kostsamt arbete som ger relativt liten energibesparing. Träväggarna har dessutom redan den bästa isoleringen och eftersom träfasaden inte visar några tecken på renoveringsbehov bedömdes åtgärden som olönsam.

5.3 Fönster

På skolan finns många stora fönster, speciellt i skoldelen. De släpper in en stor mängd dagsljus vilket är bra för elevernas inlärningsförmåga samtidigt som det behövs mindre belysning under dagtid, men på grund av fönstrens höga U-värden uppstår stora värmeförluster. Dessutom krävs återkommande underhåll på fönstren. Totalt finns det 160 stycken fönster med den sammanlagda arean 330 m². Cirka 20 % av fönstrens yta utgörs av karm och båge av trä medan resten är glas. Karmen är den del som bär upp hela fönstrets tyngd och bågen är den öppningsbara ram där själva glaset hålls på plats. Eftersom karmen och bågen är gjorda av trä krävs underhåll för att det inte ska torka ut eller bli rötskadat. Sandå Måleri, den firma som utför målningsunderhållet på Hållsta skola, uppskattade den kvarvarande livslängden på de nuvarande fönstren till cirka 20 år. Under den tiden krävs det ommålning 2-3 gånger á 1 100-1 200 kr per fönster i genomsnitt. Eftersom fönstren är relativt nymålade idag så kan en ommålning vara aktuell om 7 år och sedan om 14 år.

5.3.1 Solskyddsfilm

Ett snabbt sätt att uppgradera fönster är att klistra fast en lågmissionsfilm på de befintliga fönstren. Lågmissionsskiktet gör att glaset släpper ut en mindre mängd värme på grund av strålning. LDT AB Sol och belysningslösningar kontaktades för information om tillvägagångssättet. Företaget använder sig av film som de kallar för energisparfilm 35 AMBER som minskar både solinstrålningen och värmeförlusterna. Filmen släpper endast igenom en tredjedel av ljuset, mot de befintliga fönstren som släpper igenom tre fjärdedelar. I flertalet byggnader är detta bra eftersom det minskar behovet av kyla men på Hållsta skola finns inget kylbehov. Däremot finns det behov av solavskärmning, vilket de befintliga markiserna vittnar om.

Enligt företaget LDT AB spelade det ingen större roll vilken av rutorna filmen placeras på, bara den vetter in mot rummet. Det går däremot inte att placera den så att den vetter utåt eftersom filmen i sig inte tål UV-ljus. Det är nämligen limmet som skyddar filmen mot UV-

strålning och det skulle då hamna på fel sida om filmen. Dessutom skulle de solskyddande egenskaperna gå förlorade på grund att filmen sitter vänd åt fel håll. I praktiken placeras alltid filmen på insidan av det inre fönstret då det gör montaget enklare eftersom fönstret kan hållas stängt. Rutan tvättas och eventuella färgrester tas bort med skrapa innan filmen skärs till i rätt storlek och skyddsplasten tas bort. Med hjälp av vatten och en hård skrapa aktiveras limmet i filmen så att den fastnar på rutan. Efter cirka 30 dagar sitter den ordentligt fast. På insidan håller filmen i 10-20 år men med tanke på slitaget på en skola antogs den kortare livslängden i detta fall. När filmen sedan måste tas bort skärs den i remsor med ett rakblad och dras loss. Fönstret tvättas rent från limrester med rengöringsmedel och en vass skrapa.

Företaget LDT AB utför installationer av energisparfilm till en kostnad runt 910 kr/m² glasyta. På större objekt, såsom Hållsta skola, kan kvadratmeterkostnaden sjunka ner till 650-700 kr/m² glasyta. Gammal film tas bort till en kostnad av 450 kr/timme. 4-5 kvadratmeter per timme hinns med vilket resulterar i en kostnad på runt 100 kr/m². Efter 10 år måste ny film sättas på rutorna. Målningsunderhåll sköts på samma sätt som tidigare. U-värdet för hela fönstren med solskyddsfilmen skulle enligt beräkning bli cirka 1,9 W/m²K.

5.3.2 Byta ut en ruta mot energiglas

Hasses glasmästeri i Eskilstuna kontaktades för information om byte av den inre rutan mot ett energisparglas med ett lågemissionsskikt. U-värdet efter renovering blir enligt dem 1,8 W/m²K men på grund av det extra stora luftgapet i skolans fönster skulle U-värdet enligt Pilkington Spectrum bli lite sämre, nämligen 1,9 W/m²K. Priset inklusive glas och montering är cirka 1 200 kr/m², det vill säga 380 000 kronor för hela skolan.

5.3.3 Platsmonterad extraruta

Det finns ett fåtal företag i landet som utför platsmontering av extra rutor, varav Grundels fönstersystem är ett. En fönsterruta i en ram sätts fast på insidan av fönstret utan att fönstret behöver tas ned, vilket förkortar arbetstiden. Följande information om hur arbetet går till rent praktiskt är hämtat från företagets hemsida: ”En ram av förzinkad stålprofil med torkmedel monteras på det befintliga och rentvättade innerglaset. Ramen värms upp och vulkar fast isolerrutan. Monterat och klart på 30 minuter. En dekorlist döljer skarven.” (Grundel, 2009). Metoden lovordas på Grundels hemsida, men Rafael Kordyka på företaget IWA21 AB är inte lika positiv. Han har själva monterat extrarutor och noterat att påfrestningar på den befintliga innerbågen får cirka 5 % av de gamla innerglasen att spricka inom loppet av två veckor. Att laga fönster med en platsmonterad extraruta kräver dessutom en kunskap som vanligtvis inte finns hos glasmästare, vilket medför att en lagning kan bli dyr och tidskrävande.

Enligt Grundel skulle U-värdet bli så lågt som 1,3 W/m²K, men Pilkington Spektrum gav resultatet 1,4 W/m²K för själva fönsterdelen och hela fönstret fick då ett U-värde runt 1,5 W/m²K. Kostnaden för att uppgraderingen är 240 000 kronor enligt en offert från Grundel. (Bengtsson, D.) Liksom för nästkommande åtgärdsförslag sänktes inomhustemperaturen i simuleringen med en grad.

5.3.4 Ombyggnad till treglasfönster

Företaget IWA21 AB lämnade en offert på kostnaden att bygga om fönstren från tvåglas till treglas genom att man behåller den befintliga karmen medan bågen och glasen kasseras och ersätts med en isolerkasett om tre rutor med lågemissionsskikt och argongas mellan rutorna. Det gör att fönstren inte längre går att öppna, men eftersom man numera, jämfört med när skolan byggdes, inte ska behöva öppna fönstren för att vädra mellan lektionerna, borde det räcka med att ha ett öppningsbart fönster i varje rum ur brandsynpunkt. I Figur 13 syns ett

exempel på ett fönster där den vänstra rutan är ombyggd till fast montage medan den högra fortfarande är original, ett öppningsbart tvåglasfönster. Fönstrets karaktär ändras något i och med den synliga metallisten mellan isolerglasen. Samtidigt ökar glasytan så att mer solljus kommer in. De fönster som ska behållas öppningsbara byggs om till 1+2 kombinationer där innerglaset byts ut till en fabriksbyggd isolerruta bestående av två glas med mjuk beläggning och argongas emellan (Kordyca, R.)



Figur 13. Det vänstra fönstret är omgjort till ett fast fönster. Det högra är ännu oförändrat. Karmen behålls men bågen kasseras och en kassett med tre isolerglas monterats.

U-värdet för alla fönster skulle i medeltal bli $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med så låga U-värden bedömdes kallraset och köldstrålningen från fönstren minska drastiskt. Kallras uppstår under vintern, om fönstren har låg isolerförmåga, genom att rumsluften närmast det kalla glaset kyls av och sjunker ner mot golvet, vilket skapar ett kyligt drag. Dessutom uppstår köldstrålning, det vill säga att värmen från kroppen strålar mot den kalla fönsterytan. För att kompensera för kallras och köldstrålning måste temperaturen i rummet hållas högre än i ett rum med bättre isolerade fönster. I simuleringsprogrammet sänktes därför inomhustemperaturen med en grad vid beräkningen av energibesparingen för treglasfönstren.

I och med att det är bågen som kräver mest målningsunderhåll på fönstren bedömdes underhållskostnaden sjunka till cirka halva kostnaden då fönstren görs om från öppningsbara till fasta. Kostnaden för själva uppgraderingen är enligt offerten 320 000 kronor men detta bedömdes vara tilltaget i underkant varför kostnaden räknades upp med 50 % till 480 000 kr.

I och med att det är bågen som kräver mest målningsunderhåll på fönstren bedömdes

5.3.5 Nya fönster

Enomic Fönster säljer, tillverkar och monterar underhållsfria fönster, dörrar och fasadpartier. De kallas för underhållsfria eftersom ramar och bågar är gjorda i vit PVC-plast som inte behöver målas. (Industrigruppen för PVC-fönster, 2009).

Enomics fönster är energi- och kvalitetsmärkta enligt EQ, en energimärkning som tagits fram av energimyndigheten tillsammans med ett flertal fönstertillverkare. Energimärkningen innebär att fönstren klassas utifrån sitt U-värde med bokstäverna A till G (Energifönster, 2009). Kategori A innebär ett U-värde som är mindre eller lika med $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ medan G motsvarar U-värdet $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fönster med högre U-värden får ej energiklassas enligt EQ I Figur 14 visas energimärkningen för det aktuella fönstret från Enomic. Det har energiklass C, det vill

Energimärkt fönster	
Tillverkare Produktbeteckning	Enomic fönster ESL 70/0C
<p>Mest energieffektivt</p> <p>0,9 A</p> <p>1,0 B</p> <p>1,1 C</p> <p>1,2 D</p> <p>1,3 E</p> <p>1,4 F</p> <p>1,5 G</p> <p>Minst energieffektivt</p>	C
U-värde, $\text{W/m}^2\text{K}$	1,1
Dagsljustransmittans, procent	71
Solenergitransmittans, procent	50
EQ-märkning	EQ

Figur 14. Energiklassning för det aktuella fönstret från Enomic.

säga U-värdet 1,1 W/m²K för hela fönstret. Inomhustemperaturen i simuleringen sänktes med en grad liksom i de två tidigare åtgärdsförslagen. Precis som för ombyggnaden till treglasfönster gällde offerten till största delen icke öppningsbara fönster. Priset är i genomsnitt 2 130 kr/m² glasyta och monteringen kostar cirka 2 500 kr/fönster inklusive rivning av gamla fönster samt montage av nytt foder och smyg. Kostnaden för hela skolan skulle bli cirka 950 000 kronor enligt offert (Fisch, A.).

5.3.6 Sammanställning fönster

Vid ändring av fönster bör man enligt Boverket överväga hur fönstrens utseende, glasarea eller ljusgenomsläpplighet ändras (Boverket, 2006). En del av de föreslagna åtgärderna nedan skulle ändra fönstren ur dessa aspekter, men det bedömdes att inget av alternativet, förutom solskyddsfilm, påverkar fönstren mer än marginellt.

Det är inte bara fönstrens U-värde som påverkar energibalansen utan även deras ljusgenomsläpplighet. Eftersom flera av de montörer och leverantörer som kontaktades inte kunde ge tillförlitlig information om fönstrens fysiska egenskaper efter åtgärd, användes istället programmet Pilkington Spectrum, som är ett datorprogram där man kan beräkna prestanda på olika glaskombinationer. De U-värden som Pilkington Spectrum anger gäller dock endast för själva glasdelen i fönstret. För att få ett rimligt värde för hela fönstrets U-värde gjordes antagandet att trädelen i fönstret har ett U-värde på cirka 1,8 W/m²K (Roos, A., 2009). U-värdet viktas sedan utefter areandelen, 80 % glas och 20 % trä. I Tabell 9 anges alla U-värden efter de olika åtgärderna samt övriga fysiska egenskaper av vikt för simuleringen i VIP+.

Tabell 9. Fysiska egenskaper för olika fönsteråtgärder.

	U-värde W/m ² K	Ljustransmittans (LT)	Direkt ST %	Sol-faktorn, g
Befintliga fönster	2,8	81	70	76
Solskyddsfilm	1,9	31	16	19
Energiglas	1,9	75	60	72
Platsmontage	1,5	68	52	64
Treglasfönster	1,2	72	47	55
Nya fönster	1,1	71	42	50

Åtgärder som utförs på de befintliga fönstren, det vill säga solskyddsfilm, byte av en ruta samt platsmonterad extraruta, har samma livslängd som de befintliga fönstren, det vill säga 20 år. Eftersom solskyddsfilm måste bytas ut efter 10 år lades en kostnad för detta in i kalkylen. Om fönstren byggs om till treglasfönster håller de sannolikt längre tack vare det minskade underhållsbehovet. Längst livslängd har de nya fönstren, som kan beräknas hålla i 30-50 år. Trots de olika livslängderna sattes kalkylperioden till 20 år för alla fönsteråtgärder, för att de skulle kunna jämföras ekonomiskt. I Tabell 10 syns resultatet av de ekonomiska och energimässiga beräkningarna.

Tabell 10. Sammanställning av ekonomi och energibesparing för olika fönsteråtgärder.

	Investering, kr	LCC- besparing, kr, 20 år	Åter- betalnings- tid, år	Besparings- kostnad kr/kWh	Investerings- gräns, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Solskyddsfilm	204 800	-142 800	15,1 år	1,32	130 000	2,1	5,7
Energiglas	384 000	137 400	14,0 år	0,63	521 000	4,3	11,6
Platsmontage	238 000	824 600	4,3 år	0,19	1 063 000	8,8	23,8
Treglasfönster	480 000	961 100	6,3 år	0,16	1 441 000	9,7	26,2
Nya fönster	950 000	781 100	10,4 år	0,30	1 731 000	10,0	27,0

Man kan direkt utesluta solskyddsfilmen eftersom den inte är ekonomiskt lönsam. Att byta en av rutorna mot ett energiglas är inte heller ett bra alternativ eftersom det är dyrt i förhållande till energibesparingen. De tre mest intressanta åtgärderna visade sig vara att en platsmonterad extraruta, ombyggnad till treglasfönster eller helt nya fönster. Under 20 års tid skulle de ombyggda treglasfönstren ge störst besparing men återbetalningstiden är kortast för den platsmonterade extrarutan. På grund av de eventuella problem med fönstrens hållbarhet vid ett platsmontage bedömdes det dock vara bättre att satsa på ombyggnation till treglasfönster eller nya fönster. Under en 20-årsperiod ger det ombyggda fönstret en större besparing än nya fönster men alternativen borde egentligen jämföras under en längre period eftersom båda alternativen har en längre livslängd. Enligt LCC-analysen skulle det dröja så länge som 35 år innan de nya fönstren ger en större besparing än ombyggnationen och därför ansågs ombyggnad till treglasfönster vara det bästa alternativet för Hållsta skola.

5.3.7 Övriga fönsteråtgärder

Gardinerna i gymnastiksalen är ständigt fördragna för att hindra insyn. Det gör att dagsljuset inte kan utnyttjas och att belysningen istället måste användas även under dagtid, vilket ökar elanvändningen och minskar komforten för de personer som vistas i lokalen. En lösning kan vara frostade fönster som släpper in solljus utan att vara transparenta för insyn. Man kan fästa en frostad film på insidan eller byta ut en av rutorna mot frostat glas och kostnaden för detta är cirka 1 500 kr/m² inklusive montering (Johansson, H.). Eftersom kostnaden är så hög är montaget inte lönsamt att genomföra som en enskild åtgärd men om monteringen utförs i samband med någon av åtgärderna här ovan blir den extra kostnaden mindre och det skulle kunna bli lönsamt.

En åtgärd som kan räknas som rent underhåll är att täta fönstren. Det gjordes ingen inventering av fönsterlisterna på Hållsta skola, men man kan konstatera att otäta fönster leder till onödiga värmeförluster och drag närmast fönstren. Det finns flera ställen på fönstret där otätheter kan uppstå och det enklaste och snabbaste stället att täta är mellan karm och båge. Genom att hålla fönstren täta kan man spara upp till 5 % av värmebehovet (Energikontoret Skåne, 2000).

5.4 Ventilationen

5.4.1 Ändra driften

Det nya aggregatet i skoldelen är väl anpassat efter skolans öppettider och det finns ingen anledning att förkorta drifttiderna. Vid byggnationen av den nya ventilationen i skolbyggnaden installerades dock inga spjäll som gör det möjligt att ventilera de olika rummen oberoende av varandra. Därför finns det nu enbart två alternativ; ventilation i alla rum samtidigt eller helt avstängd ventilation. Eftersom det ibland, till exempel under

föräldramöten kvällstid, endast är vissa delar av byggnaderna som används, vore det bra om man kan välja att ventilera endast de berörda klassrummen. Styrningen kan ske med koldioxidgivare. Att installera dessa spjäll i efterhand bedömdes dock inte vara lönsamt.

I fritidsdelen ventileras gymnastiksalen mellan klockan 08.00 och 20.00 trots att de sista barnen vanligtvis lämnar byggnaden redan klockan 16.00. Eftersom duschutrymmet används mest på förmiddagen och hinner torka upp till skoldagens slut rekommenderas att drifttiderna kortas till 16.00. De två kvällar i vecka som gymnastiksalen hyrs ut kan aggregatet startas manuellt. En flödesminskning med 200 l/s under fyra timmar alla vardagar ger besparingen 620 kWh el per år (Sörbring, E.). I Tabell 11 visas den energi- och koldioxidbesparing som de minskade drifttiderna skulle ge. Eftersom åtgärden är kostnadsfri finns det inga ekonomiska hinder för att genomföra åtgärden.

Tabell 11. Energi- och koldioxidminskning genom kortare drifttider för ventilationen i gymnastiksalen.

	Besparing el kWh/år	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Kortad drifttid i gymnastiksalen	620	0,2	0,5

Endast en liten del av frånluften i fritidsdelen återvinns i de befintliga ventilationsaggregaten, som dessutom bedöms ha en resterande livslängd på maximalt 10 år. I Sektionsfakta®-VVS 07/08 finns ett kostnadsförslag för en ventilationsanläggning med värmeåtervinning för en låg- och mellanstadieskola med ytan 700 m² uppförd i ett plan, med vattenburen värme från elpanna samt traditionella VS-installationer, mottagningskök och administrativa lokaler. Likheterna med Hållsta skola var slående så kostnadsförslaget kunde användas utan modifiering. Någon närmare beskrivning av värmeväxlingen fanns inte så den antogs vara av typen roterande växlare med verkningsgraden 80 %. Kostnaden för aggregatet och installation är 670 kr/m² golvyta och inkluderar styr- och reglerutrustning, men en kostnad för projektering tillkommer och för att få med detta i kalkylen gjordes ett tillägg om 20 % på installationskostnaden. Priset för att riva befintlig anläggning bedömdes vara cirka 60 000 kronor (Geerd, A.). Den totala kostnaden för en ny ventilation i fritidsbyggnaden bedömdes bli 750 000 kronor och det är i samma prisklass som bytet av aggregatet i skolbyggnaden.

Tabell 12. Förslag på nya flöden och drifttider för ventilationen i fritidsdelen.

Rum	Yta m ²	Antal pers	Luftflöde [l/s]	Drifttider
Kapprum	27	-	10	6-18
Pianorum	9	2	17	6-18
Matsal	68	5	375	6-18
Matrum morgon	46	5	51	6-11
Matrum eftermiddag		10	86	11-18
Kapprum	13		5	6-18
Groventré	15		5	6-18
Lekrum	101	20	175	6-18
Gymnastik högfart	140	20	1127	8-13
Gymnastik lågfart		10	119	13-16
Kapprum	23		8	8-16
Klassrum	91	25	207	8-16

Flödena i det nya aggregatet bestämdes utifrån de krav som finns på ventilation enligt ”Minimikrav på luftväxling” (Enberg, H. 2009) och återfinns i Tabell 12. Flödena är anpassade efter hur många personer som bedömdes vistas i lokalerna samtidigt.

Elanvändningen för ett aggregat med värmeväxling är vanligtvis större än för ett aggregat utan värmeväxling på grund av det ökade tryckfallet, men eftersom flera av de nuvarande omoderna aggregaten på skolan bedömdes kräva minst lika mycket driftel som ett nytt aggregat skulle göra, antogs elanvändningen för ventilationen förbli densamma efter åtgärd.

Tabell 13. Sammanställning av ekonomi och energibesparing för nya ventilationsaggregat.

	Investering, kr	LCC- besparing, kr, 25 år	Åter- betalnings- tid, år	Besparings- kostnad kr/kWh	Investerings- gräns, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Ny ventilation	750 000	834 000	11,1	0,40	1 600 000	8,0	21,6

Resultatet av energisimuleringarna och de ekonomiska kalkylerna syns i Tabell 13. Slutsatsen blev att en kortsiktig åtgärd är att minska drifttiden för ventilationsaggregatet i gymnastiksalen, men på längre sikt borde hela ventilationssystemet byggas om.

5.5 Tappvarmvatten

På de flesta toaletterna på skolan finns tvågreppsblandare, se Figur 15, och icke-snålpolande toalettstolar. Vid en inspektion på skolan visade det sig att två av kranarna droppade varmvatten. Detta berodde inte på att de var otäta utan på att de inte stängts ordenligt av den senaste besökaren. Ett anslag som eleverna själva skrivit och satt upp på en klassrumsdörr löd ”stäng av kranen ordentligt efter användning”. En engreppsblandare som är lättare att stänga skulle underlätta för eleverna att följa denna uppmaning. Genom att byta armaturerna kan man också minska vattenanvändningen genom att välja snålpolande varianter. De snålpolande armaturerna kostar runt 1 800 kr styck inklusive installation och har en livslängd på cirka 15 år (Adalberth, K. 2008). Det är 15 gamla kranar som skulle behöva bytas till en total kostnad av 27 000 kr. I duscharna vid gymnastiksalen finns det armaturer som själva stängs av efter en viss tid och dessa bedömdes inte behöva bytas.



Figur 15. Tvågreppsblandare i handtvättställ.

För att kunna göra beräkningar av lönsamheten för åtgärden gjordes ett antal antaganden. Den energianvändning på 8 100 kWh/år för varmvatten som redovisas i avsnitt 3.1.3 ”Kall- och varmvatten” antogs utgöra varmvattenanvändning för dusch och handtvätt. Övrig varmvattenanvändning till diskmaskin och tvättmaskin antogs ligga utanför dessa 8 100 kWh/år eftersom det vattnet värms med el. Av varmvattnet för dusch och handtvätt antogs cirka hälften

användas till handtvätt under de aktuella tvågreppsblandarna, det vill säga 4 050 kWh/år.

I beräkningarna i avsnitt 3.1.3 ”Kall- och varmvatten” antogs varmvattnet hålla temperaturen 55°C. Det är den temperatur som vattnet har då det skickas ut i ledningarna. Användaren bestämmer sedan en lämplig temperatur genom att vrida på önskad mängd kall och varmvatten. I nedanstående beräkningar antogs den genomsnittliga temperaturen för dusch

och handtvätt vara 35°C. Genom att använda samma ekvation som i avsnitt 3.1.3 får vi fram hur stor mängd vatten som åtgår till dusch och handtvätt:

$$Q_{\text{varmvatten}} = V_{\text{varmvatten}} \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot C_p \Leftrightarrow V_{\text{varmvatten}} = \frac{Q_{\text{varmvatten}}}{\rho \cdot \Delta T \cdot C_p}$$

Den totala mängd vatten som används till dusch och tvätt blir då:

$$V_{\text{varmvatten}} = \frac{4050 \text{ kWh} / \text{år}}{1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot (35 - 7)^\circ\text{C} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{kWh}}{\text{J}}} \approx 124 \text{ m}^3 / \text{år}$$

Vattenkostnaden beräknades utifrån ett pris på 15 kr/m³ (Eskilstuna energi och miljö, 2009):

$$\text{Vattenkostnad}_{\text{varmvatten}} = 248 \frac{\text{m}^3}{\text{år}} \cdot 15 \frac{\text{kr}}{\text{m}^3} = 1\,860 \text{ kr} / \text{år}$$

Exakt hur stor mängd vatten som kan sparas tack vare att munstyckena är snålpolande ansågs svårt att bedöma men en rimlig uppskattning ansågs vara att minst 30 % av vattnet för handtvätt kan sparas tack vare snålpolande armaturer. Utöver detta tillkommer besparingen tack vare att minskat droppande. Två droppande kranar antogs läcka runt 50 liter vatten per dag (Vattenfall, 2009). Den energimängd som de droppande kranarna slösar bort motsvarar:

$$Q_{\text{droppande kranar}} = 0,050 \frac{\text{m}^3}{\text{dygn}} \cdot 365 \frac{\text{dygn}}{\text{år}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (35 - 7)^\circ\text{C} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{kWh}}{\text{J}} \approx 600 \text{ kWh} / \text{år}$$

Vattenkostnaden blir:

$$\text{Vattenkostnad}_{\text{droppande kranar}} = 0,050 \frac{\text{m}^3}{\text{dygn}} \cdot 365 \frac{\text{dygn}}{\text{år}} \cdot 15 \frac{\text{kr}}{\text{m}^3} = 274 \text{ kr} / \text{år}$$

Den totala besparingen i form av kWh och vattenkostnader ses i Tabell 14.

Tabell 14. Energianvändning och vattenkostnad för handtvätt före och efter åtgärd.

	Energi för handtvätt, kWh/år	Volym vatten till handtvätt, m ³ /år	Vattenkostnad för handtvätt, kr/år
Före åtgärd	4 050	124	1 860
Efter åtgärd	2 241	87	1 590

Den tekniska livslängden sattes i LCC-kalkyln till 15 år (Adalberth et al, 2008). Åtgärden visade sig vara lönsam och bör genomföras. Resultatet redovisas i Tabell 15.

Tabell 15. Sammanställning av ekonomi och energibesparing för nya armaturer i tvättställ.

	Investering, kr	LCC-besparing, kr, 15 år	Återbetalningstid, år	Besparingskostnad, kr/kWh	Investeringsgräns, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Nya armaturer i tvättställ	27 000	14 650	9,3	0,43	41 580	0,2	0,6

5.6 Sammanfattning av åtgärdsförslag

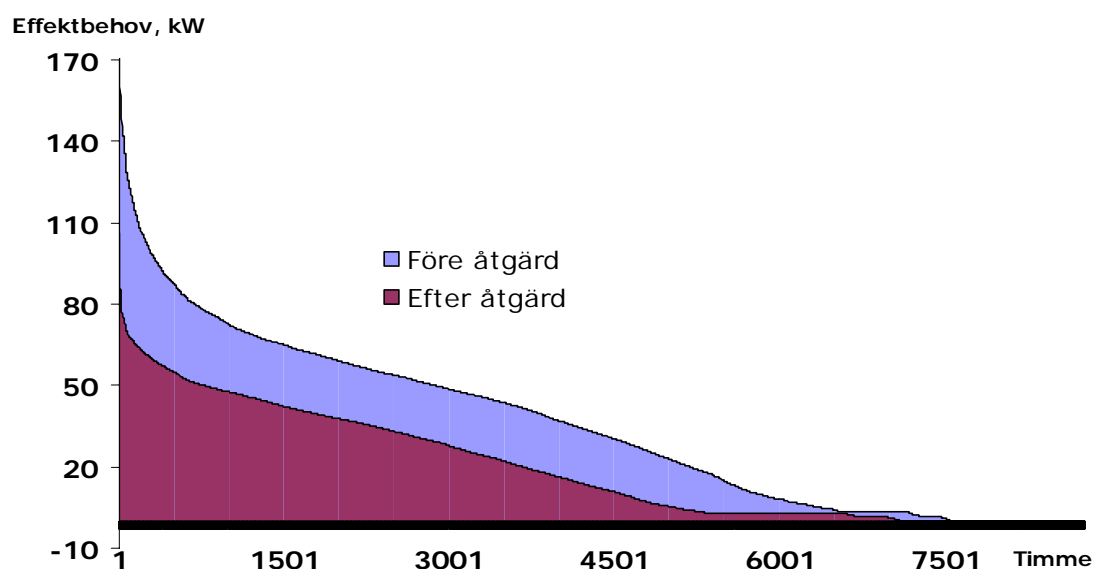
Ett flertal åtgärder för att minska energianvändningen för värme och vatten på Hållsta skola studerades. Av dessa utmärkte sig några som lönsamma, nämligen uppgradering av fönstren, byte av ventilationsaggregat i fritidsdelen, tilläggsisolering med lösull i en del av taket samt byte av tvågreppsblandare till engreppsblandare i flertalet tvättställ. Kostnad och energibesparingen för respektive åtgärd samt den totala energibesparingen redovisas i Tabell 16. Den totala energibesparingen blir något mindre då alla åtgärder genomförs samtidigt än om varje åtgärds enskilda besparing summeras. Det beror på att åtgärderna ej är oberoende av varandra, då varje åtgärd påverkar energibalansen i huset.

Tabell 16. Lönsamma energibesparingsåtgärder på Hållsta skola

	Investering, kr	Besparing olja, m ³ /år	Besparing CO ₂ , ton/år
Fönster, ombyggnad till fasta fönster med isolerkasett	480 000	9,7	26,2
Ventilation, byte med möjlighet till behovsanpassning och värmeväxling	750 000	8,0	21,6
Lösullsisolering i del av tak	7 000	0,1	0,3
Byte till snålspolande armaturer i tvättställ	27 000	0,2	0,6
Om alla åtgärder genomförs	1 264 000	17,5*	47,3

* Om alla åtgärder genomförs samtidigt blir energibesparingen något mindre än summan av de enskilda åtgärderna, vilket beror på att energiflödena ej är oberoende av varandra.

Totalt skulle åtgärderna spara 17,5 m³ olja per år, det vill säga runt 40 % av oljeanvändningen och det maximala effektbehovet skulle minska lika mycket procentuellt sett. I Figur 16 presenteras det minskade energibehovet i form av ett varaktighetsdiagram. Det har skapats genom att effektbehovet från VIP+ sorteras i fallande ordning timme för timme för ett helt år. Den övre kurvan visar skolans effektbehov före åtgärder och den undre efter åtgärd.



Figur 16. Effektbehovet före och efter föreslagna åtgärder presenterade i ett varaktighetsdiagram, där effektbehovet, exklusive förluster i oljepannan, är sorterat i storleksordning timme för timme under ett år

6 Byte av värmekälla

I detta kapitel behandlas alternativ till oljeeldning på Hållsta skola

Förvaltaren Eskilstuna Kommunfastigheter AB har som mål att all uppvärmning med olja ska vara borta år 2010. Fastighetsskötaren Tony Christiansen berättade om lösa planer på att bilda ett närvärmsystem tillsammans med de kommunala hyreshusen intill skolan. Ett av dessa hus värms idag med direktverkande el, ett uppvärmningssätt som också ska vara borta ur Eskilstuna Kommunfastigheter AB:s fastighetsbestånd år 2010. Eftersom detta examensarbete är begränsat till Hållsta skola fokuserades dock på lösningar som endast berörde skolan. En sådan lösning kan vara att konvertera till pelletseldning eller bioolja och eftersom bioolja redan diskuterats som en lösning för Hållsta skola, valdes det alternativet i detta arbete. Under sommarhalvåret kan man tänka sig att komplettera med solfångare, men eftersom verksamheten på skolan är begränsad under sommaren skulle solfångarnas kapacitet inte utnyttjas till fullo. Något som däremot befanns intressant var värmepumpar i kombination med en elpanna eller bioolja.

Byte av värmesystem bör alltid ske först efter att andra energieffektiviserande åtgärder genomförts, eftersom en sparad kilowattimme alltid är bättre för miljön än en producerad kilowattimme. Det finns även ekonomiska incitament för detta. Eftersom energieffektiviserande åtgärderna sparar effekt så kommer man, om man valt att satsa på ett nytt värmesystem som första åtgärd, få ett effektöverskott då de övriga åtgärderna genomförs. Eftersom en värmeanläggning med högre effekt kostar mer än en värmeanläggning med en lägre effekt innebär effektöverskottet en utnyttjad investering.

6.1 Bioolja

Något som Eskilstuna Kommunfastigheter AB ser som ett alternativ till oljeeldningen är att elda med bioolja från MBP Group. Deras olja framställs av restprodukter från bland annat livsmedelsindustrin, teknisk processindustri och fiskeindustrin. Ingen av oljorna som företaget levererar framställs primärt för bränsletillverkning. Biooljan får endast ha biologiskt ursprung så inga restprodukter med fossilt ursprung är tillåtna. Som alltid när man eldar flytande bränslen är stelningpunkten viktig och den varierar mer för biooljor än för mineraloljor. Oljor med låg stelningpunkt kan vara trögflytande i rumstemperatur och kräva förvärmning för att de ska kunna sprutas in i pannan. Oljor med högre kvalitet håller sig flytande även i rumstemperatur, men priset är högre. Biooljan har ett energiinnehåll runt 39,5 MJ/kg, att jämföra med eldningsoljan som ligger på 41 MJ/kg. En nackdel med biooljan är att den kan slita mer på anläggningen än vanlig eldningsolja.

På grund av brist på information om vad oljan skulle kosta kunde ingen ekonomisk kalkyl göras. Man kan anta att priset är ungefär detsamma som för den fossila olja, 8 500 kr/m³ och därtill kommer kostnad för konvertering av pannan. Det skulle alltså inte innebära någon ekonomisk vinst men däremot en miljömässig vinst. Om man räknar med att eldning med bioolja inte bidrar med något fossilt koldioxidutsläpp vid eldning skulle skolans koldioxidutsläpp minska med 63 ton. Eldning med bioolja bedömdes vara ett bra alternativ till oljeeldning på Hållsta skola eftersom det kräver en relativt liten investering.

6.2 Värmepump

En värmepump fungerar som ett kylskåp eftersom den bygger på samma fysikaliska princip, men dess uppgift är att värma istället för att kyla. Värme hämtas från en lämplig källa, till exempel mark, uteluft, ventilationsluft, avloppsvatten och spillvatten. Dessa källor har normalt sett en lägre temperatur än den plats som ska värmas, och eftersom värme enligt

termodynamikens andra huvudsats aldrig kan överföras spontant från en kallare plats till en varmare måste driftenergi tillföras. I de allra flesta fall utgörs denna driftenergi av elenergi och eftersom elen omvandlas till värme i värmepumpen kommer även driftelen att bidra till värmen från värmepumpen. För att jämföra olika värmepumpar anges deras värmefaktor, som är ett mått på hur mycket värme som kan levereras relativt den elenergi som måste tillföras.

I detta arbete behandlas två sorters värmepumpar, nämligen bergvärmepump och uteluftvärmepump. Båda pumparna ingår i företaget Thermias utbud. Det är tekniskt möjligt att täcka skolans hela energibehov med hjälp av en eller flera värmepumpar, men det skulle innebära att värmepumparnas hela effekt endast används under en liten del av året, vilket är olönsamt. Istället bör de dimensioneras som baslast, (se avsnitt 3.1.1 ”Olja”) med tillskott från en annan värmekälla under perioder med stort effektbehov. I detta arbete antas att detta extra effekttillskott kommer från en elpanna, särskilt installerad för ändamålet.

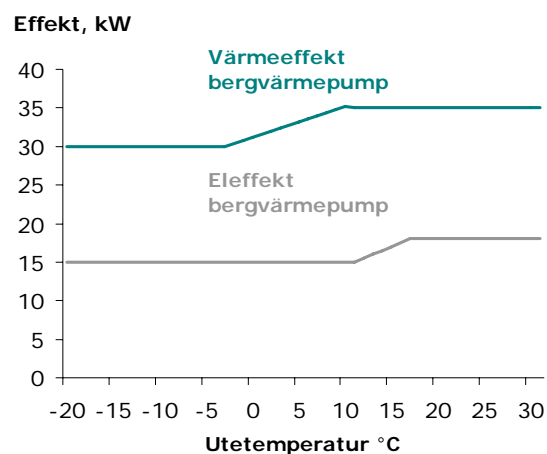
Eftersom varmvattnet till dusch och tvätt alltid måste värmas över 55°C på grund av risk med legionellabakterier kan det bli tekniskt komplicerat att värma både varmvattenssystemet och värmesystemet med värmepumpen. Eftersom varmvattenbehovet på skolan är litet skulle det sannolikt vara mer lönsamt att värma allt varmvatten med en elpanna och det är så som systemet utformades i detta arbete.

6.2.1 Bergvärmepump

En bergvärmepump hämtar värme från djupa, borrhade hål i marken med hjälp av cirkulerande vatten. Värmen tillförs den befintliga ackumulatortanken för att sedan spridas i byggnaderna via det vattenburna värmesystemet. I Figur 17 visas effekten från den aktuella bergvärmepumpen vid olika utetemperaturer. Eftersom värmen kommer från berget, som har en relativt konstant temperatur året runt, beror det ökade värmebidraget för högre utetemperaturer enbart på att den erforderliga temperaturen i byggnadens värmesystem sjunker med högre utomhustemperaturer. Värmepumpen kan nämligen avge en större värmeeffekt då skillnaden mellan bergets temperatur och värmesystemets temperatur minskar.

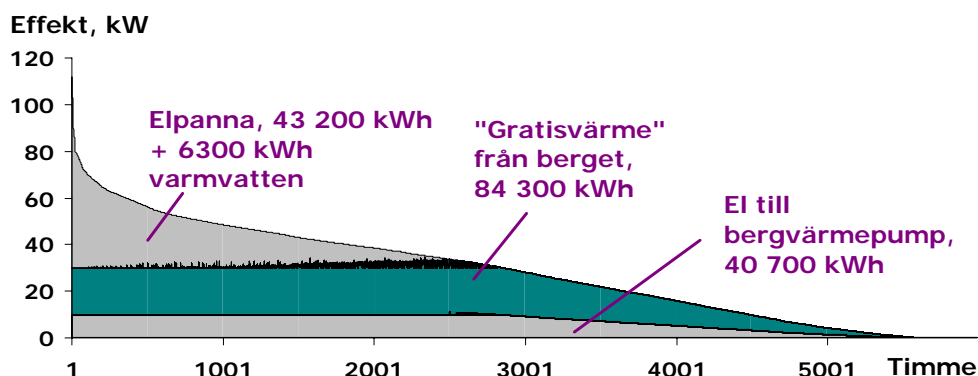
För att beräkna hur stor del av skolans energibehov som täcks av bergvärmepumpen jämfördes skolans effektbehov med värmepumpens avgivna värmeeffekt timme för timme och resultatet visas i Figur 18 i form av ett varaktighetsdiagram. Längst ner i figuren syns den elenergi som åtgår för värmepumpen. Ytan ovanför representerar den energi som hämtas ur berget och den kallas ibland för ”gratisenergi” eftersom den inte utgör någon ekonomiskt kostnad. Varaktighetsdiagrammet är sorterat efter skolans effektbehov och inte efter utetemperatur, så närliggande timmar i figuren är kopplade till varierande utetemperaturer. Det gör att kurvan med ”gratisenergin” får ett oregelbundet utseende.

Toppen på varaktighetsdiagrammet representerar den energi som måste tillföras från elpannan



Figur 17. Bergvärmepumpens levererade värmeeffekt och eleffektbehov vid olika utomhustemperaturer.

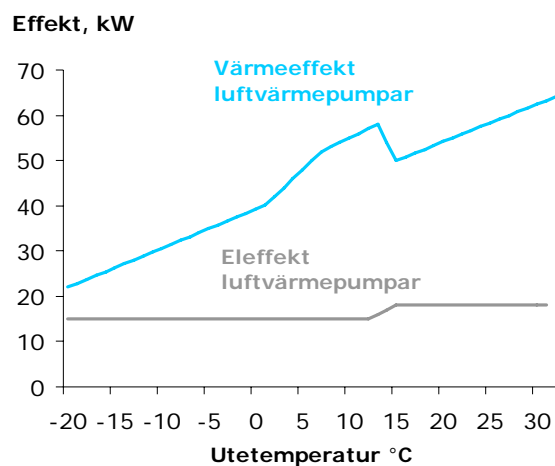
då värmepumpens effekt inte räcker till. Utöver detta tillkommer elenergin för värmning av varmvatten.



Figur 18. Möjlig besparing med en bergvärmepump presenterat i ett varaktighetsdiagram med effektbehovet sorterat i fallande ordning timme för timme och den nödvändiga elenergin för drift och spetlast.

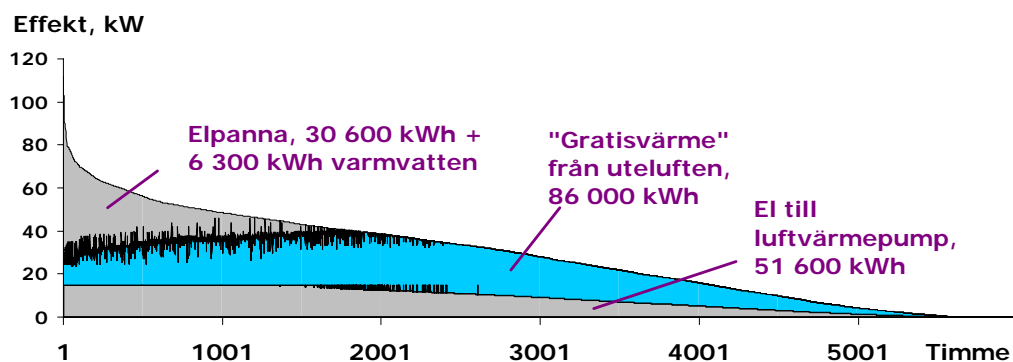
6.2.2 Luftvärmepump

Eftersom Thermia inte har någon tillräckligt stor luft/vattenvärmepump för Hållsta skola i sitt sortiment gjordes istället beräkningar med fyra luft/vattenvärmepumpar på cirka 12 kW vardera. I Figur 19 visas effekten från luftvärmepumparna beroende av utetemperatur. Luftvärmepumparnas effektbidrag är betydligt mer beroende av utetemperaturen än bergvärmepumpen eftersom de hämtar värmen från uteluften.



Figur 19. Luftvärmepumparnas levererade värmeeffekt och eleffektbehov vid olika utomhustemperaturer.

Motsvarande beräkning som för bergvärmepumpen gjordes, med simuleringsresultaten från VIP+ och resultatet presenteras i Figur 20. Bergvärmepumpen kräver något lägre el till driften än luftvärmepumparna, medan de senare ger störst mängd värme totalt. Den elenergi som måste tillföras totalt för driften och som spetslast blir ungefär lika stor för de båda pumparna. En energi- och miljömässig jämförelse mellan pumparna ses i Tabell 17.



Figur 20. Möjlig besparing med en luftvärmepump presenterat i ett varaktighetsdiagram med effektbehovet sorterat i fallande ordning timme för timme och den nödvändiga elenergin för drift och spetlast.

Tabell 17. Energi- och miljömässig jämförelse av bergvärmepump och luftvärmepump.

	Besparing olja, m ³ /år	Driftel kWh/år	Elpanna kWh/år	Ökad elanvändning totalt, kWh/år	Besparing CO ₂ , ton/år
Bergvärmepump	23,5	40 800	49 500	90 300	61,8
Luftvärmepumpar	23,5	51 600	36 900	88 500	61,9

6.2.3 Lönsamhetsberäkning värmepump

Priset för bergvärmepumpen är enligt Thermia 92 000 kr för bergvärmepumpen och 80 000 kr per styck för luftvärmepumparna, men eftersom det går att köpa en större pump från en annan leverantör och på så vis sannolikt få ett lägre pris per kilowatt sänktes priset för luftvärmepumparna med 30 %. I Tabell 18 görs en bedömning av kostnaden för borrhål, elpanna, elanslutning samt övrigt förknippat med installationen (Geerd, A.).

Tabell 18. Bedömning av kostnaderna för installation av bergvärmepump respektive luftvärmepump.

Kostnadspost	Bergvärmepump	Luftvärmepump
Värmepump	92 000	225 000
Borrhål	160 000	-
Fundament	-	40 000
Elpanna+elinstallationer	70 000	80 000
Rörsystem	60 000	70 000
Styrsystem	30 000	30 000
Byggherrekostnader	65 000	65 000
Övrigt	40 000	40 000
Summa, kr	515 000	550 000

En luftvärmepump kan ha något kortare livslängd än en bergvärmepump, 15-20 år mot 25-30 år (Kleregård, L.). För att göra en rättvis jämförelse lades en kostnad för byte av själva

luftvärmepumpen in efter 15 år i LCC-kalkylen. En ekonomiskt jämförelse mellan bergvärmepumpen och luftvärmepumpen ses i Tabell 19.

Tabell 19. Ekonomisk jämförelse av bergvärmepump och luftvärmepump.

	Investering, kr	LCC- besparing, kr, 25 år	Åter- betalnings- tid, år	Besparings- kostnad kr/kWh	Investerings- gräns, kr
Bergvärmepump	520 000	2 000 000	4,8	0,18	2 500 000
Luftvärmepumpar	550 000	1 800 000	5,0	0,25	2 400 000

7 Diskussion

Syftet med denna rapport var att ur en miljömässig, ekonomisk och komfortmässig synvinkel föreslå energieffektiviseringar rörande energianvändningen för värme och vatten på Hållsta skola. Den ekonomiska aspekten har behandlats i och med att åtgärderna endast ansågs energieffektiva om de samtidigt var ekonomiskt lönsamma. Den miljömässiga biten presenterades i form av koldioxidutsläpp. Detta är inte den enda miljöbelastningen som energianvändningen medför, men den kan anses vara en indikator eftersom en minskning av koldioxidutsläpp ofta följs av en minskning av övriga miljöutsläpp. Vad gäller komfort så ökar den med alla föreslagna åtgärder. Drag, köldstrålning och kallras minskar genom bättre isolerade fönster och tak. En ny ventilationsanläggning ger större möjligheter att anpassa ventilationen efter rådande behov. Nya armaturer i tvättställ gör det lättare att ställa in temperaturen på vattnet och risken för att bränna sig minskar.

Eskilstuna Kommunfastigheter AB:s mål för värme och varmvatten på skolor år 2009 var en maximal användning av 118 kWh/m²år för värme och varmvatten. Eftersom det inte preciserades närmare, antogs siffran syfta till den inköpta energimängden. Det gör att målet slår olika hårt mot skolorna beroende på uppvärmningssätt. Hållsta skola får en relativt sett högre energianvändning eftersom förlusterna i förbränningsanläggningen räknas in i energianvändningen. En skola som värms med fjärrvärme får en relativt lägre energianvändning eftersom förlusterna vid energiomvandlingen tillskrivs värmeverket istället för skolan. På liknande sätt klarar byggnader med värmepump lättare målen eftersom man inte gör någon skillnad mellan köpt energi och det verkliga energibehovet.

Eskilstuna Kommunfastigheter AB:s angav inga ekonomiska begränsningar för att nå de uppsatta målen för energianvändningen år 2009. Utgångspunkten i detta arbete var dock att endast åtgärder som är ekonomiskt lönsamma ska bedömas som energieffektiva. Åtgärder som ger orimligt stora kostnader jämfört med energibesparingen bör ej genomföras, eftersom pengarna skulle kunna investeras klokare i andra åtgärder. Den ekonomiska lönsamheten bedömdes i arbetet med hjälp av en livscykelkostnadsanalys (LCC) eftersom den tar hänsyn till underhållskostnader och åtgärdens hela livslängd. LCC-analysen kompletterades med en Pay-off-analys för att jämföra åtgärder med liknande livscykelkostnad.

I beräkningarna rörande värmepumparna antogs spetsbehovet täckas av elpannor, som också stod för varmvattnet för att göra systemet mindre tekniskt komplicerat. Ett annat alternativ är att behålla oljepannorna som spetslast och använda den befintliga elpannan samt värmepumparna för att värma varmvattnet. Fördelen är ett ekonomiskt mindre sårbart system eftersom oljan kan utnyttjas istället för el då elpriset är som högst, till exempel vid köldtoppar. Nackdelen är att oljeberoendet kvarstår och att en oljepanna inte kan startas och stoppas efter

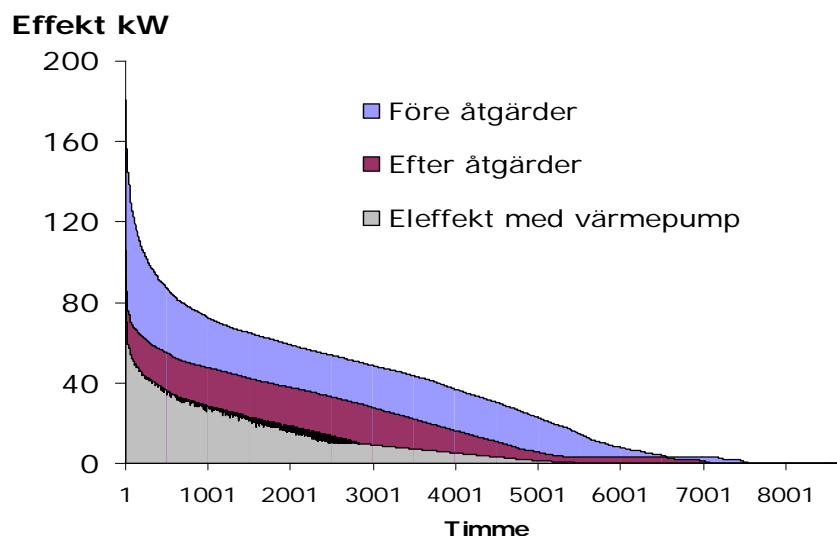
behov utan måste köras kontinuerligt för att inte energiförlusterna och miljöbelastningen ska bli för hög.

8 Slutsats

Det finns flera möjligheter att minska energianvändningen för värme och varmvatten på Hållsta skola på ett kostnadseffektivt sätt. Genom ett ”åtgärds paket” med förändringar rörande isolering i en del av taket, uppgradering av alla fönster, nya ventilationsaggregat med värmeväxling i fritidsdelen samt utbyte av tvågreppsblandare skulle skolans energianvändning minska till 167 kWh/m²år från tidigare 270 kWh/m²år. Åtgärderna bidrar även till en minskad miljöbelastning bland annat genom att koldioxidutsläppen minskar. Komforten i byggnaderna ökar genom att drag, köldstrålning och kallras minskar med bättre isolerade fönster och tak. En ny ventilationsanläggning ger större möjligheter att anpassa ventilationen efter det rådande behovet. Nya armaturer i tvättställ gör det lättare att ställa in temperaturen på vattnet och risken för att bränna sig minskar.

Två alternativ till oljeeldning studerades: eldning med bioolja eller uppvärmning med värmepump. Bioolja är ett förnybart bränsle med liknande egenskaper som fossil eldningsolja. Eftersom det inte fanns något kostnadsuppgifter för biooljan kunde dock inga ekonomiska beräkningar genomföras. Det fanns däremot gott om information för alternativet att installera värmepump och beräkningar på två typer av värmepumpar genomfördes; bergvärmepump och luftvärmepump. De antogs utgöra baslast och täckas upp av en elpanna som topplast. Både alternativen visade sig ha nästintill lika stor investeringskostnad och kräva ungefär lika stor insats av el. De är båda lönsamma med god marginal, men eftersom luftvärmepumpen kräver större underhåll för att nå samma livslängd som bergvärmepumpen, ger bergvärmepumpen något större lönsamhet.

Den köpta energimängden för värme och varmvatten efter de föreslagna effektiviseringsåtgärderna och installation av värmepump minskar till cirka 55 kWh/m², år. Det är långt under Eskilstuna Kommunfastigheters mål 118 kWh/m²år. I Figur 21 visas med ett varaktighetsdiagram energianvändningen före och efter genomförda effektiviseringsåtgärder, samt den inköpta elmängden efter installation av en bergvärmepump.



Figur 21. Varaktighetsdiagram som visar energianvändningen före och efter genomförda effektiviseringsåtgärder, samt den inköpta elmängden efter installation av en bergvärmepump.

Referenser

Rapporter och andra tryckta referenser

Abel, E. Elmroth, A. (2006): *Byggnaden som system*, Forskningsrådet Formas

Adalberth, K. Wahlström Å. (2008): *Energibesiktning av byggnader - flerbostadshus och lokaler*, SIS Förlag AB

Boverket (2006), *Allmänna råd om ändring av byggnad, BÅR Boverket Allmänna råd 1996:4, ändrad genom 2006:1*

Enberg, H ©. (2009), utgåva 8: *Minimikrav på luftväxling, en tolkning av Boverkets Byggregler, Arbetsmiljöverkets föreskrifter, Socialstyrelsens allmänna råd och andra dokument.*

Energimyndigheten (2008), *Energiläget 2008*
Rapport ER 2008:15

PM-luft, okänt år, *Instruktion CABA-SK-1-408, Installation, injustering, drift, skötsel*

Sandberg, P-I., Sikander, E., Wahlgren, P., Larsson, B, (2007), *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen -Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler*, rapport 2007:23 från SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Sektionsfakta®-ROT 09/10, *Teknisk ekonomisk sammanställning av ROT-byggnader*, Wiksells byggberäkningar AB.

Sektionsfakta®-VVS 07/08, *Teknisk ekonomisk sammanställning av VVS-installationer* Wiksells byggberäkningar AB.

Internetbaserade referenser

Boverket (2009), *Vad innehåller en energideklaration*
Från hemsidan www.boverket.se
Faktainsamling 2010-01-17

Energifönster (2009), *Vill du ha mer pengar i plånboken?*
Från hemsidan www.energifonster.nu
Faktainsamling 2009-11-20

Energikontoret Skåne (2000), *Lönsamma sätt att spara energi - en lathund*
Från hemsidan <http://www.sparkraft.nu/infobase/document/4767.pdf>
Faktainsamling 2009-10-22

Eskilstuna energi och miljö (2009), *Vatten- och avloppspriser 2009*
Från hemsidan <http://www.eem.se/texter/read.php?id=181547>
Faktainsamling 2009-11-16

Eskilstuna Kommunfastigheter AB (2009)
Från hemsidan <http://www.kfast.se/TOPPMENY/Miljo/Undersida1/>
Ansvarig utgivare Magnus Widing 2009-02-17
Faktainsamling 2010-01-11

Grundel (2009)
Från hemsidan <http://www.grundels.se>
Faktainsamling 2009-09-30

Industrigruppen för PVC-fönster (2009)
Från hemsidan <http://www.pvcfonster.se/>
Faktainsamling 2009-11-20

Jernkontoret (2009), *Energifakta livscykelkostnad*
Från hemsidan <http://energihandbok.se/x/a/i/10246/livscykelkostnad.html>
Faktainsamling 2009-10-03

Pilkington (2009), Pilkington Spectrum
Från hemsidan www.pilkington.com
Faktainsamling 2009-11-20

SMHI (2009)
Från hemsidan www.smhi.se
Faktainsamling 2009-11-26

SPI (2008), Svenska petroleum institutet, *Energiinnehåll, densitet och koldioxidemission*
Från hemsidan <http://www.spi.se/omraknfakt.asp?art=3>
Faktainsamling 2010-01-15

Vattenfall AB (2009), *Vad kostar en droppande kran?*
Från hemsidan <http://www.vattenfall.se>
Faktainsamling 2009-11-16

Muntliga referenser

Alf Eriksson, Anders Geerd, Erik Sörbring samt
Kenneth Malmberg, Ramböll Sverige Eskilstuna

Anders de la Rose, Ulf Olsson, Thermia

Andres Fisch, Enomic Fönster & Fasader

Arne Roos, Uppsala Universitet

Daniel Bengtsson, Grundel fönstersystem

Fredrik J Boman, MBP Group

Hans Johansson, Hasses Glasmästeri, Eskilstuna

Jonas Billing, Pär Carlsson, Stefan Eriksson och
Tony Christiansen, Eskilstuna Kommunfastigheter AB

Kent Holgersson, Micatrone

Leif Kleregård, NVS

Leif Söderholm, Sandå Måleri

Martin Behm, LDT AB Sol och belysningslösningar

Rafael Kordyka, IWA 21 AB

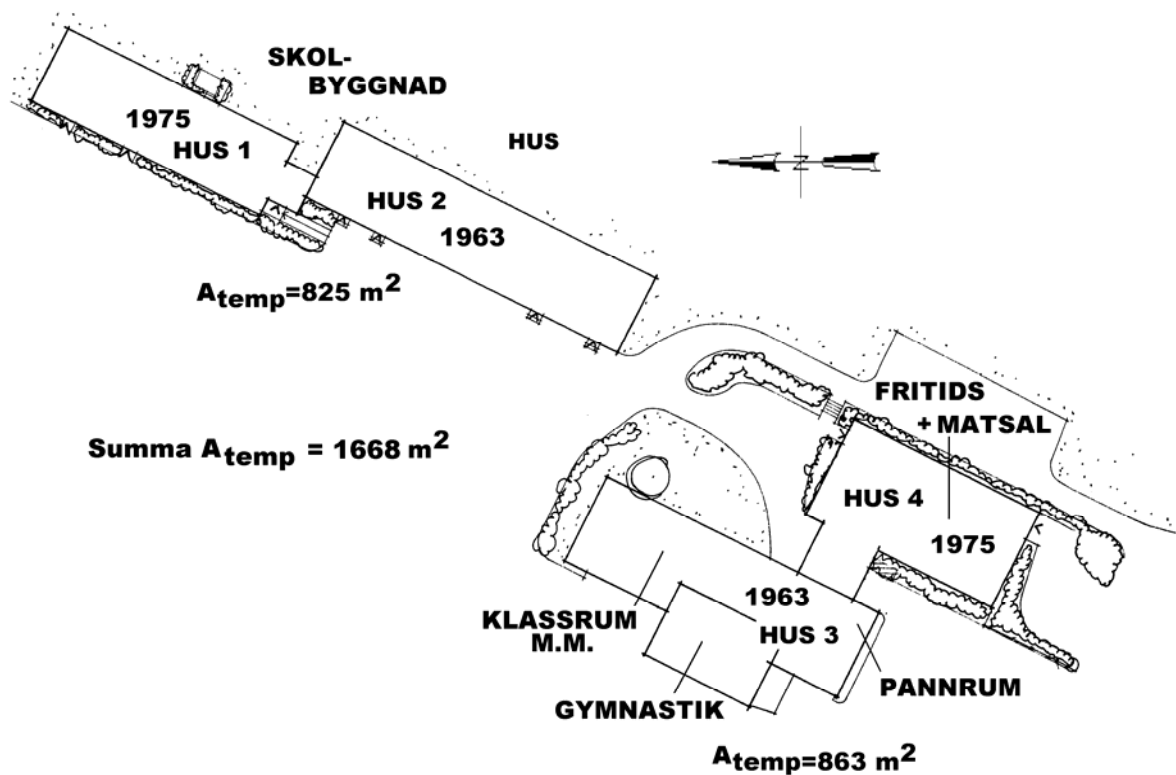
Övriga dokument

Injusteringsprotokoll och OVK för ventilationen på skolan.

Ritningar från Eskilstuna kommun.

Bilagor

I Indata till simuleringsprogrammet VIP+



Beteckningar som använts för de olika byggnaderna vid inmatning av data i VIP+.

Hus 1 och Hus 2

Allmänt

Beräkningsdatum	2010-02-15 (12:33:47)
Beräkningsperiod - Dag	1 - 365
Klimatdata	STOCKHOLM
Latitud	59.4 grader
Klimatzon BBR12	NORR
Solreflektion från mark	0.00 %
Vindhastighet	0.00 % av klimatdata
Luftryck	1000 hPa
Horisontvinkel mot markplan	S:0 SV:0 V:0 NV:0 N:0 NO:0 O:0 SO:0 °
Formfaktor för vindtryck	S:-0.60 SV:0.70 V:0.70 NV:0.70 N:-0.60 NO:-0.60 O:-0.50 SO:-0.60 TAK:0.00
Vridning av byggnad	15 °
Verksamhetstyp	Ej Bostad
Ventilationsvolym	0.0 [m³]
Uppvärmd bruksarea enl SS021052	825.0 [m²]
Markegenskap Värmeledningstal: Lera, dränerad sand , dränerat grus.	1.4 [W/m²K]

Aktuellt Hus

Byggdelstyper 1-dimensionella - Katalog

Byggdelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m²C	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kg°C	U-värde W/m²°C	Delta- U-värde W/m²°C	Luftläck. q50 l/s,m²
Trä - skiva 100	TRÄ-13	0.025	0.130	500	2500	0.327	0.000	2.00
	MINERALULL40	0.100	0.040	50	840			
	TRÄ-13	0.025	0.130	500	2500			
Trä - skiva150	TRÄ-14	0.020	0.140	500	2300	0.234	0.010	2.00
	REGLAR600	0.030	0.041	55	845			
	ASFABOARD	0.013	0.065	400	1170			
	REGLAR600	0.120	0.041	55	845			
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Tegel - skiva120	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840	0.278	0.010	2.00
	ASFABOARD	0.013	0.065	400	1170			
	REGLAR600	0.120	0.041	55	845			
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Golv 30 minull	MINERALULL60	0.030	0.060	50	840	1.007	0.010	0.00
	BETONG	0.550	1.700	2300	800			
Golv 40 minull	MINERALULL60	0.040	0.060	50	840	1.102	0.010	0.00
	BETONG	0.120	1.700	2300	800			
Golv 80 minull	MINERALULL60	0.080	0.060	50	840	0.635	0.010	0.00
	BETONG1.7	0.120	1.700	2300	800			
Tegel-skiva100-tegel	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840	0.329	0.000	2.00
	REGLAR600	0.100	0.041	55	845			
	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840			
TAK 170 minull	MINERALULL40	0.150	0.040	50	840	0.251	0.010	2.00
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Golv 70 minull	MINERALULL60	0.070	0.060	50	840	0.688	0.000	0.00
	BETONG1.7	0.200	1.700	2300	800			
Tegel 1 sten	TEGEL60	0.250	0.600	1500	840	1.705	0.000	2.00

Bygghelstyper 1-dimensionella - Katalog

Bygghelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m ² C	Densitet kg/m ³	Värme- kapacitet J/kg ² C	U-värde W/m ² C	Delta- U-värde W/m ² C	Luftläck. q50 l/s,m ²
TAK 130 minull	MINERALULL40	0.117	0.040	50	840	0.317	0.010	2.00
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Innervägg hus 2	TEGEL58	0.250	0.580	1500	840	1.664	0.000	0.00

Byggnadsdelar - Väggar, bjälklag

Benämning	Bygghelstyp	Orien- tering	Mängd Area m ² Längd m Antal st	Sol- absorb- tion %	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angräns- ande temp °C	Andel av effekt- behov %	U-värde med mark och D-U W/m ² C	Psi-värde W/m ² C
Yttervägg HUS 1	Tegel - skiva120	NORR	36.4m ²	70.0	33.8	37.2		0	0.288	
Yttervägg HUS 1	Tegel - skiva120	SÖDER	16.3m ²	70.0	33.8	37.2		0	0.288	
Yttervägg HUS 1	Trä - skiva150	SÖDER	6.0m ²	70.0	33.8	36.6		0	0.244	
Yttervägg HUS 1	Tegel - skiva120	VÄSTER	31.7m ²	70.0	33.8	36.6		0	0.288	
Yttervägg HUS 1	Trä - skiva150	VÄSTER	34.0m ²	70.0	33.8	36.6		0	0.244	
Yttervägg HUS 1	Trä - skiva150	ÖSTER	69.8m ²	70.0	33.8	37.7		0	0.244	
Yttervägg HUS 2	Tegel-skiva100-tegel	NORR	27.4m ²	70.0	33.8	37.2		0	0.329	
Yttervägg HUS 2	Tegel-skiva100-tegel	SÖDER	36.4m ²	70.0	33.8	37.2		0	0.329	
Yttervägg HUS 2	Tegel 1 sten	VÄSTER	45.6m ²	70.0	33.8	36.6		0	1.705	
Yttervägg HUS 2	Trä - skiva 100	VÄSTER	28.6m ²	70.0	33.8	36.6		0	0.327	
Yttervägg HUS 2	Trä - skiva 100	ÖSTER	90.9m ²	70.0	33.8	37.7		0	0.327	
Tak HUS 1	TAK 170 minull	TAK	395.0m ²	90.0	36.6	37.7		0	0.261	
Golv hus 1	Golv 30 minull	PPM 0-1 m	31.6m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.472	
Golv hus 1	Golv 80 minull	PPM 0-1 m	58.7m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.374	
Golv hus 1	Golv 40 minull	PPM 1-6 m	289.2m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.232	
Golv hus 2	Golv 70 minull	PPM 0-1 m	55.5m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.381	
Golv hus 2	Golv 70 minull	PPM 1-6 m	430.8m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.198	
Tak HUS 2	TAK 130 minull	TAK	505.5m ²	90.0	36.6	37.7		0	0.327	
Innervägg HUS 2	Innervägg hus 2	INNER	143.0m ²					0		
Innervägg HUS 2 små	Innervägg hus 2	INNER	184.0m ²					0		

Solskyddstyper

Benämning	Gräns- temp. °C	Gräns- effekt W/m ²	Reduk- tion av Total %	Reduk- tion av Direkt %	Vinkel Under- kant	Vinkel Över- kant	Vinkel Skärm 1 Sida 1	Vinkel Skärm 1 Sida 2	Vinkel Skärm 2 Sida 1	Vinkel Skärm 2 Sida 2	Högsta Vind- hastighet m/s
Markis solregl	100.0	250.0	70.0	70.0	70.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0

Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Benämning	Bygghelstyp	Orien- tering	Area m ²	Glas- andel %	Sol- transm. Total %	Sol transm. Direkt %	U-värde W/m ² C	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Luftläck. q50 l/s,m ²	Sol- skydd
Fönster HUS 1	2 GLAS NORMAL	SÖDER	2.4	80	76	70	2.80	34.5	35.5	2.00	
Fönster HUS 1	2 GLAS NORMAL	VÄSTER	20.3	80	76	70	2.80	34.5	36.0	2.00	
Fönster HUS 1	2 GLAS Markis	ÖSTER	57.7	80	76	70	2.80	34.5	36.5	2.00	Markis solregl
Portar Hus 1	PORT TRÄ	SÖDER	2.4	0	0	0	1.00	33.8	35.8	2.00	
Portar Hus 1	PORT METALL	VÄSTER	5.5	50	76	70	2.00	33.8	35.8	2.00	
Fönster hus 2	2 GLAS NORMAL	VÄSTER	35.4	80	76	70	2.80	34.5	36.0	2.00	
Fönster hus 2	2 GLAS Markis	ÖSTER	80.8	80	76	70	2.80	34.5	36.0	2.00	Markis solregl
Port hus 2	PORT METALL	VÄSTER	13.2	50	76	70	2.00	33.8	35.8	2.00	

Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Benämning	Byggdeltyp	Orientering	Area m ²	Glasandel %	Soltransm. Total %	Soltransm. Direkt %	U-värde W/m ² °C	Lägstagnivå m	Högstagnivå m	Luftläck. q50 l/s,m ²	Solskydd
Port hus 2	PORT TRÄ	VÄSTER	2.2	0	0	0	1.00	33.8	35.8	2.00	

Driftdata

Driftfallsbenämning	Verksamhetsenergi rumsluft W/m ²	Verksamhetsenergi rumsluft W/lgh	Verksamhetsenergi extern W/m ²	Fastighetsenergi rumsluft W/m ²	Fastighetsenergi extern W/m ²	Personvärme W/m ²	Tappvarmvatten W/m ²	Tappvarmvatten W/lgh	Högstaurumtemp °C	Lägstaurumtemp °C
SKOLA 21 DAG	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	2.00	0.00	27.00	21.00
SKOLA 21 NATT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00	21.00

Drifttider

Driftfallsbenämning	Veckodagar	Dagnummer	Tid	Driftfallsbenämning	Veckodagar	Dagnummer	Tid
SKOLA 21 NATT	MÅND-FRED	1 - 365	0 - 8	SKOLA 21 NATT	LÖRD	1 - 365	0 - 24
SKOLA 21 DAG	MÅND-FRED	1 - 365	8 - 16	SKOLA 21 NATT	SÖND	1 - 365	0 - 24
SKOLA 21 NATT	MÅND-FRED	1 - 365	16 - 24				

Ventilationsaggregat

Aggregatbenämning	Tilluft Fläkttryck Pa	Tilluft Verkn.gr %	Frånluft Fläkttryck Pa	Frånluft Verkn.gr %	Verkn.gr återvinning %	Lägstatillufttemp °C	Utetemp Driftp. L °C	Flöde Driftp. L %	Utetemp Driftp. H °C	Flöde Driftp. H %
LA 1 Tilluft frånluft	575.00	60.00	625.00	60.00	70.00	17.00	-20.0	100	20.0	100

Ventilationsaggregat - Drifttider och flöden

Aggregatbenämning	Veckodagar	Tilluft [l/s]	Frånluft [l/s]	Startdag-Slutdag	Starttid-Sluttid
LA 1 Tilluft frånluft					
	MÅND-FRED	2080.00	2081.00	1 - 365	7 - 16
	LÖRD	0.00	0.00	1 - 365	0 - 24
	SÖND	0.00	0.00	1 - 365	0 - 24

Hus 3 och Hus 4

Allmänt

Beräkningsdatum	2010-02-15 (12:33:47)
Beräkningsperiod - Dag	1 - 365
Klimatdata	STOCKHOLM
Latitud	59.4 grader
Klimatzon BBR12	NORR
Solreflektion från mark	0.00 %
Vindhastighet	0.00 % av klimatdata
Luftryck	1000 hPa
Horisontvinkel mot markplan	S:0 SV:0 V:0 NV:0 N:0 NO:0 O:0 SO:0 °
Formfaktor för vindtryck	S:-0.60 SV:0.70 V:0.70 NV:0.70 N:-0.60 NO:-0.60 O:-0.50 SO:-0.60 TAK:0.00
Vridning av byggnad	15 °
Verksamhetstyp	Ej Bostad
Ventilationsvolym	0.0 [m³]
Uppvärmd bruksarea enl SS021052	863.0 [m²]
Markegenskap Värmeledningstal: Lera, dränerad sand , dränerat grus.	1.4 [W/m²K]

Aktuellt Hus

Byggdelstyper 1-dimensionella - Katalog

Byggdelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m²C	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kg°C	U-värde W/m²°C	Delta- U-värde W/m²°C	Luftläck. q50 l/s,m²
Trä - skiva150	TRÄ-14	0.020	0.140	500	2300	0.234	0.010	2.00
	REGLAR600	0.030	0.041	55	845			
	ASFABOARD	0.013	0.065	400	1170			
	REGLAR600	0.120	0.041	55	845			
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Tegel - skiva120	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840	0.278	0.010	2.00
	ASFABOARD	0.013	0.065	400	1170			
	REGLAR600	0.120	0.041	55	845			
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Golv 80 minull	MINERALULL60	0.080	0.060	50	840	0.635	0.010	0.00
	BETONG	0.120	1.700	2300	800			
Golv 40 minull	MINERALULL60	0.040	0.060	50	840	1.102	0.010	0.00
	BETONG1.7	0.120	1.700	2300	800			
Tegel-skiva70-tegel	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840	0.435	0.000	2.00
	REGLAR600	0.070	0.041	55	845			
	TEGEL60	0.120	0.600	1500	840			
Tegel 1,5 sten	TEGEL60	0.370	0.600	1500	840	1.271	0.000	2.00
TAK 170 minull	MINERALULL40	0.150	0.040	50	840	0.251	0.010	2.00
	GIPSSKIVA	0.013	0.220	900	1100			
Hus 3 golv medel	MINERALULL40	0.012	0.040	50	840	1.850	0.000	0.00
	BETONG	0.120	1.700	2300	800			
TAK 100 minull	MINERALULL40	0.090	0.040	50	840	0.413	0.010	2.00
TAK hus 3 nedtrampad	MINERALULL40	0.060	0.040	50	840	0.599	0.000	2.00
TAK hus 3	MINERALULL40	0.117	0.040	50	840	0.323	0.000	2.00
Innervägg hus 3	TEGEL58	0.250	0.580	1500	840	1.664	0.000	0.00

Byggnadsdelar - Väggar, bjälklag

Benämning	Byggdeltyp	Orientering	Mängd Area m ² Längd m Antal st	Sol- absorb- tion %	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angräns- ande temp °C	Andel av effekt- behov %	U-värde med mark och D-U W/m ² °C	Psi-värde W/m ² °C
Yttervägg HUS 3	Tegel-skiva 70-tegel	NORR	30.9m ²	0.0	33.8	36.2		0	0.435	
Yttervägg HUS 3	Tegel 1,5 sten	NORR	39.7m ²	0.0	33.8	38.8		0	1.271	
Yttervägg HUS 3	Tegel-skiva 70-tegel	SÖDER	36.2m ²	0.0	33.8	38.8		0	0.435	
Yttervägg HUS 3	Tegel 1,5 sten	SÖDER	35.3m ²	0.0	33.8	36.2		0	1.271	
Yttervägg HUS 3	Tegel-skiva 70-tegel	VÄSTER	75.3m ²	0.0	33.8	38.0		0	0.435	
Yttervägg HUS 3	Tegel 1,5 sten	VÄSTER	30.4m ²	0.0	33.8	38.0		0	1.271	
Yttervägg HUS 3	Tegel-skiva 70-tegel	ÖSTER	13.8m ²	0.0	33.8	36.2		0	0.435	
Yttervägg HUS 3	Tegel 1,5 sten	ÖSTER	86.7m ²	0.0	33.8	63.2		0	1.271	
Golv hus 3	Hus 3 golv medel	PPM 0-1 m	103.0m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.584	
Golv hus 3	Hus 3 golv medel	PPM 1-6 m	447.9m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.242	
TakHUS 3 nedtrampa d	TAK hus 3 nedtrampa d	TAK	30.0m ²	90.0	37.0	37.0		0	0.599	
TakHUS 3 mot tak	TAK hus 3	TAK	236.0m ²	90.0	37.0	37.0		0	0.323	
TakHUS 3 lågt tak	TAK hus 3	TAK	330.0m ²	90.0	37.0	37.0		0	0.323	
Yttervägg hus 4	Tegel - skiva120	NORR	13.8m ²	0.0	33.8	36.6		0	0.288	
Yttervägg hus 4	Trä - skiva150	NORR	34.1m ²	70.0	33.8	37.2		0	0.244	
Yttervägg hus 4	Tegel - skiva120	SÖDER	29.5m ²	0.0	33.8	37.0		0	0.288	
Yttervägg hus 4	Trä - skiva150	SÖDER	13.4m ²	70.0	33.8	36.5		0	0.244	
Yttervägg hus 4	Tegel - skiva120	VÄSTER	38.1m ²	0.0	33.8	36.5		0	0.288	
Yttervägg hus 4	Tegel - skiva120	ÖSTER	60.3m ²	0.0	33.8	38.5		0	0.288	
Yttervägg hus 4	Trä - skiva150	ÖSTER	34.1m ²	70.0	33.8	38.5		0	0.244	
Tak hus 4	TAK 170 minull	TAK	366.0m ²	90.0	36.5	38.5		0	0.261	
Tak hus 4	TAK 100 minull	TAK	28.6m ²	90.0	33.8	33.8		0	0.423	
Golv hus 4	Golv 80 minull	PPM 0-1 m	79.2m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.374	
Golv hus 4	Golv 40 minull	PPM 1-6 m	329.0m ²	0.0	33.8	33.8		0	0.232	
Innervägg HUS 3	Innervägg hus 3	INNER	150.0m ²					0		

Solskyddstyper

Benämning	Gränstemp. °C	Gränseffekt W/m ²	Reduktion av Total %	Reduktion av Direkt %	Vinkel Underkant	Vinkel Överkant	Vinkel Skärm 1 Sida 1	Vinkel Skärm 1 Sida 2	Vinkel Skärm 2 Sida 1	Vinkel Skärm 2 Sida 2	Högsta Vindhastighet m/s
Markis solregl	100.0	250.0	80.0	80.0	75.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
Gardin gymnastik	15.0	2000.0	70.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Benämning	Byggnadstyp	Orientering	Area m ²	Glasandel %	Soltransm. Total %	Soltransm. Direkt %	U-värde W/m ² °C	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Luftläck. q50 l/s,m ²	Solskydd
Port hus 3	PORT TRÄ	VÄSTER	11.4	0	0	0	1.00	33.8	35.8	2.00	
Port hus 3	PORT TRÄ	ÖSTER	6.6	0	0	0	1.00	33.8	35.8	2.00	
Fönster hus 3	2 GLAS NORMAL	NORR	7.2	80	76	70	2.80	35.5	36.5	2.00	
Fönster hus 3	2 GLAS NORMAL	SÖDER	1.9	80	76	70	2.80	35.5	36.5	2.00	
Fönster hus 3	2 GLAS NORMAL	VÄSTER	10.4	80	76	70	2.80	34.6	35.1	2.00	
Fönster gymnastik	2 GLAS Gardin	VÄSTER	30.2	80	76	70	2.80	33.8	37.6	2.00	Gardin gymnastik
Fönster hus 3	2 GLAS Markis	ÖSTER	14.6	80	76	70	2.80	35.5	36.5	2.00	Markis solregl
Fönster hus 4	2 GLAS NORMAL	NORR	11.4	80	76	70	2.80	34.5	35.5	2.00	
Fönster hus 4	2 GLAS ENERGI	NORR	2.5	80	53	43	1.30	34.5	35.5	2.00	
Fönster hus 4	2 GLAS NORMAL	SÖDER	8.2	80	76	70	2.80	34.5	35.5	2.00	
Fönster hus 4	2 GLAS NORMAL	VÄSTER	10.6	80	76	70	2.80	34.5	35.5	2.00	
Fönster hus 4	2 GLAS ISOLER 70-tal	ÖSTER	24.4	80	76	70	2.90	34.2	36.3	2.00	Markis solregl
Portar hus 4	PORT METALL	NORR	2.9	50	76	70	2.00	33.8	35.8	2.00	
Portar hus 4	PORT TRÄ	SÖDER	5.0	0	0	0	1.00	33.8	35.8	2.00	
Portar hus 4	PORT METALL	SÖDER	8.1	50	76	70	2.00	33.8	35.8	2.00	
Fönster gymnastik	2 GLAS Gardin	ÖSTER	5.3	80	76	70	2.80	38.3	39.0	2.00	Gardin gymnastik
Fönster hus 3	2 GLAS NORMAL	ÖSTER	6.6	80	76	70	2.80	35.5	39.0	2.00	

Driftdata

Driftfallsbenämning	Verksamhetsenergi rumsluft W/m ²	Verksamhetsenergi rumsluft W/lgh	Verksamhetsenergi extern W/m ²	Fastighetsenergi rumsluft W/m ²	Fastighetsenergi extern W/m ²	Personvärme W/m ²	Tappvarmvatten W/m ²	Tappvarmvatten W/lgh	Högsta rumstemp °C	Lägsta rumstemp °C
SKOLA 21 NATT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00	21.00
HÄLLSTA 21 DAG	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	2.00	0.00	27.00	21.00

Drifftider

Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Dag-nummer	Tid	Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Dag-nummer	Tid
HÅLLSTA 21 DAG	MÅND-FRED	1 - 365	8 - 18	SKOLA 21 NATT	MÅND-FRED	1 - 365	18 - 24
SKOLA 21 NATT	MÅND-FRED	1 - 365	0 - 8	SKOLA 21 NATT	LÖRD-SÖND	1 - 365	0 - 24

Ventilationsaggregat

Aggregat-benämning	Tilluft Fläkttryck Pa	Tilluft Verkn.gr %	Frånluft Fläkttryck Pa	Frånluft Verkn.gr %	Verkn.gr återvinning %	Lägsta tilluftstemp °C	Utetemp Driftp. L °C	Flöde Driftp. L %	Utetemp Driftp. H °C	Flöde Driftp. H %
TA1 matsal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
TA2 kök	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
TA3 fritids	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
VA1 gymn helflöde	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
VA1 gymn lågflöde	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
VA4 helflöde	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
VA4 lågflöde	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
FF5/FF8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
FF6/FF7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
FF9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
E2,E3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-20.0	100	20.0	100
Extra ventilation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-20.0	100	20.0	100

Ventilationsaggregat - Drifftider och flöden

Aggregat-benämning	Vecko-dagar	Tilluft [l/s]	Frånluft [l/s]	Startdag-Slutdag	Starttid-Sluttid
TA1 matsal					
	MÅND-FRED	650.00	0.00	1 - 365	6 - 18
TA2 kök					
	MÅND-FRED	290.00	0.00	1 - 365	6 - 16
TA3 fritids					
	MÅND-FRED	128.00	0.00	1 - 365	6 - 18
VA1 gymn helflöde					
	MÅND-FRED	500.00	500.00	1 - 365	8 - 14
VA1 gymn lågflöde					
	MÅND-FRED	200.00	200.00	1 - 365	14 - 20
VA4 helflöde					
	MÅND-FRED	180.00	180.00	1 - 365	8 - 20
VA4 lågflöde					
	MÅND-FRED	80.00	80.00	1 - 365	0 - 8
	MÅND-FRED	80.00	80.00	1 - 365	20 - 24
FF5/FF8					
	MÅND-FRED	0.00	650.00	1 - 365	6 - 18
FF6/FF7					
	MÅND-FRED	0.00	375.00	1 - 365	6 - 16
FF9					
	MÅND-FRED	0.00	128.00	1 - 365	6 - 18
E2,E3					
	MÅND-FRED	0.00	308.00	1 - 365	8 - 20
Extra ventilation					
	MÅND-SÖND	100.00	100.00	1 - 365	0 - 24

II LCC-analyser

Lösullsisolering i del av tak

Kalkylperiod, år: 15

	Befintligt tak	Lösull
Investeringskostnad, kr	0	7 200
Energikostnader		
Årligt energibehov, olja kWh	1 800	395
Summa energikostnad, kWh/år	1 530	336
Underhållskostnader		
Underhållskostnad, kr/år	0	0
LCC-analys		
Grundinvestering, kr	0	7200
LCC energi, kr	22 070	4 840
LCC underhåll, kr	0	0
LCC, tot kr	22 070	12 042
LCC-besparing, kr	-	10 025
Besparingskostnad, kr/kWh	-	0,36
Övrigt		
Återbetalningstid, år		6,0
Investeringsgräns, kr		17 225

Tilläggsisolering av hela taket

Kalkylperiod, år: 40

	Befintligt tak	Nytt tak
Investeringskostnad, kr	0	1 429 000
Energikostnader		
Energibehov olja kWh/år	75 000	46 000
Summa energikostnad, kr/år	64 000	39 000
Underhållskostnader		
Underhållskostnad, kr/år	0	0
LCC-analys		
Grundinvestering, kr	0	1 429 000
LCC energi, kr	2 319 000	1 403 000
LCC underhåll, kr	0	0
LCC, tot kr	2 318 706	2 832 315
LCC-besparing, kr	-	- 513 609
Besparingskostnad, kr/kWh	-	1,33
Övrigt		
Återbetalningstid, år		56,5
Investeringsgräns, kr		915 400

Fönsteråtgärder

Kalkylperiod, år: 20

	Befintliga fönster	Solskydds-film	Energiglas	Platsmontage	Treglasfönster	Nya fönster
Investeringskostnad, kr	0	204 800	384 000	238 000	480 000	950 000
Energikostnader						
Energibehov, olja, kWh/år	79 940	64 20	47 630	14 100	6 880	5 150
Summa energikostnad, kr/år	67 940	54 420	40 490	11 990	5 840	4 380
Underhållskostnader						
Underhållskostnad, kr/år	27 600	27 600	27 600	27 600	13 800	0
Extra underhållskostnad år 10	0	204 800	0	0	0	0
LCC-analys						
Grundinvestering, kr	0	204 800	384 000	238 000	480 000	950 000
LCC energi, kr	1 290 090	1 033 250	768 710	227 530	110 970	83 060
LCC underhåll, kr	524 050	718 890	524 050	524 050	262 030	0
LCC, tot kr	1 814 140	1 956 940	1 676 760	989 580	852 990	1 033 062
LCC-besparing, kr	-	- 142 800	137 400	824 600	961 100	781 100
Besparingskostnad, kr/kWh	-	1,32	0,63	0,20	0,16	0,30
Övrigt						
Återbetalningstid, år		15,1	14,0	4,3	6,3	10,4
Investeringsgräns, kr		130 000	521 000	1 063 000	1 441 000	1 731 000

Armaturer i tvättställ

Kalkylperiod, år: 15

	Befintliga armaturer	Nya snålspolande armaturer
Investeringskostnad, kr	0	27 000
Energikostnader		
Energibehov, olja, kWh/år	5 400	2 988
Summa energikostnad, kr/år	4 590	2 540
Underhållskostnader		
Underhållskostnad, kr/år	1 866*	1 032*
LCC-analys		
Grundinvestering, kr	0	27 000
LCC energi, kr	66 172	36 612
LCC underhåll, kr	26 900	14 884
LCC, tot kr	93 072	78 496
LCC-besparing, kr	-	14 600
Besparingskostnad, kr/kWh	-	0,43
Övrigt		
Återbetalningstid, år	-	9,3
Investeringsgräns, kr	-	41 650

*Vattenkostnaden räknas som underhållskostnad

Ny ventilation med vvx

Kalkylperiod, år: 25

	Befintliga aggregat	Nya aggregat med vvx
Investeringskostnad, kr	0	750 000
Energikostnader		
Energibehov, olja, kWh/år	97 356	17 887
Summa energikostnad, kr/år	82 753	15 204
Underhållskostnader		
Underhållskostnad, kr/år	-	-
LCC-analys		
Grundinvestering, kr	0	750 000
LCC energi, kr	1 940 189	356 471
LCC underhåll, kr	-	-
LCC, tot kr	1 940 189	1 106 471
LCC-besparing, kr	-	833 718
Besparingskostnad, kr/kWh	-	0,40
Övrigt		
Återbetalningstid, år	-	11,1
Investeringsgräns, kr	-	1 600 000

Värmepump

Kalkylperiod, år: 25

	Oljeeldning	Bergvärmepump	Luftvärmepumpar
Investeringskostnad, kr	-	520 000	550 000
Energikostnader			
Energibehov olja kWh/år	232 738	-	-
Energibehov el kWh/år	-	90 300	88 500
Summa energikostnad, kr/år	197 827	90 300	88 500
Underhållskostnader			
Underhållskostnad år 15, kr	-	-	225 000
LCC-analys			
Grundinvestering, kr	-	520 000	550 000
LCC energi, kr	4 638 186	2 117 141	2 074 939
LCC underhåll, kr	-	-	208 781
LCC, tot kr	4 638 186	2 637 141	2 833 720
LCC-besparing, kr	-	2 001 045	1 804 466
Besparingskostnad, kr/kWh	-	0,18	0,25
Övrigt			
Återbetalningstid, år	-	4,8	5,0
Investeringsgräns, kr	-	2 500 000	2 400 000