



## Minskad energianvändning, men hur mycket?

*Less energy consumption, but how much?*

Oskar Ageborg Ollandt, Anna Maria Albért, Maria Dalheim,  
August Forslund, Dennis Holmlund, Samuel Jansson,  
Karl Larson, Axel Timm & Gustav Wendin

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2016:09  
ISSN 1654-9392  
Uppsala 2016



## Minskad energianvändning, men hur mycket?

Less energy consumption, but how much?

*Oskar Ageborg Ollandt, Anna Maria Albért, Maria Dalheim,  
August Forslund, Dennis Holmlund, Samuel Jansson, Karl  
Larson, Axel Timm & Gustav Wendin*

**Handledare:** Alfredo de Toro, institutionen för energi och teknik, SLU

**Examinator:** Sven Smårs, institutionen för energi och teknik, SLU

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå, fördjupning och ämne:** Grundnivå, G2E, teknik

**Kurstitel:** Självständigt arbete i energisystem

**Kurskod:** EX0759

**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2016

**Omslagsbild:** foto Oskar Ageborg Ollandt, 2016

**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

**Delnummer i serien:** 2016:09

**ISSN:** 1654-9392

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** energieffektivisering, LED-lampor, solceller, energilagring, simulering

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik



## Sammanfattning

Almtuna förskola ägs och förvaltas av Skolfastigheter AB, ett fastighetsföretag i Uppsala kommun. Förskolan ligger i stadsdelen Fålhagen öster om stadskärnan. I november-december 2015 utfördes ett byte av belysning från gamla lysrör till den senaste LED-tekniken. Denna studie har gjort en uppföljning på elförbrukningen efter lampbytet samt undersökt möjligheter för fortsatta energieffektiviseringar. Även potentialen för solkraft samt lagring av den producerade elektriciteten examinerades.

Detta undersöktes med hjälp av en energimodell av byggnaden som utvecklades i mjukvaran Simulink. Valideringen visade att modellen stämde bra överens med verkligheten. Efter lampbytet minskade totala energiförbrukningen med 14 % för januari till mars 2016 jämfört med samma månader 2011-2015. Av energieffektiveringsåtgärderna (tilläggsisolering, byte av fönster och dörrar, ventilation, torkskåp och återkoppling av kökets luftflöden) som undersöktes var endast ventilationen som ansågs värd som investeringen.

Studien föreslog även en anläggning på 39 moduler av monokristallina solceller från JA Solar placerade på mittentaket. De kommer enligt simulering i PVsyst producera ca 10 500 kWh per år vilket motsvarar 16 % av förskolans elförbrukning. I praktiken är det 14 % av förskolans elförbrukning som täcks då det sker överproduktion som dock kan säljas. Den uppskattade återbetalningstiden för enbart investering + installation är 15 år.

Utifrån de genomförda simuleringarna framgick att överskottsel från solcellsanläggningen endast sker på helger, vilket leder till en relativt låg ekonomisk lagringspotential under året (ca 250 kWh). Studien visade att det var mer lönsamt att sälja den överproducerade elen. Om lagringen skulle vara aktuell var alternativet med LiFePO<sub>4</sub>-batteri mest intressant på grund av sin långa livslängd och förmåga att klara spridda upp- och ur-laddningar.

## Abstract

The following report investigates the Almtuna preschool buildings potential improvements in energy efficiency. Almtuna preschool is owned by Skolfastigheter AB, which is a part of Uppsala Kommun. The preschool is situated in Fålhagen, east from the city centre. In November-December 2015 the old luminous lamps were replaced with the newer technique LED lamps.

The results were based on a simulation model of the building in Simulink. The models corresponded closely with the reality. After the change of lamps, the total energy consumption decreased with 14% for January to Mars 2016 compared with the same months for 2011-2015. The findings of the report show that of the potential improvements only the ventilation would be a viable. The report suggests a photo voltaic system of 39 monocrystalline modules from the company JA Solar. These should be placed on the middle roof, and will produce about 10 500 kWh per year which is 16 % of the preschool electricity consumption. In practice only 14 % of the buildings electricity consumption would be replaced as the electricity from the PV cells will be produced unevenly during the day and it is expected that at certain periods the PV cells will produce too much electricity for the building use. The estimated pay-back period for the investment and installation was 15 years.

There is a possibility that the excess electricity produced could be sold to the grid. An alternative option is to store the energy in a battery. The suggested battery for energy storage is LiFePO<sub>4</sub> as it has a long lifespan and a high threshold to withstand up and down charges. The calculated potential energy storage during one year is 250 kWh. The report found however that the most economically viable option would be to sell the excess energy to the electricity network.



# Innehållsförteckning

1. Inledning .....	3
1.1 Syfte .....	3
1.2 Bakgrund och teori.....	3
2. Material och metod .....	5
2.1 Data och källor.....	5
2.2 Energieffektivisering.....	5
2.3 Simulering i Simulink .....	6
2.4 Simulering i PVsystem .....	6
2.5 Ekonomi.....	7
2.6 Avgränsningar och antaganden.....	7
3. Resultat .....	9
3.1 Värmebalans .....	9
3.2 Elanvändning .....	9
3.3 Uppföljning.....	10
3.4 Vidare energieffektivisering .....	11
3.5 Solkraft.....	12
3.6 Lagringspotential .....	13
4. Diskussion.....	15
4.1 Energieffektivisering.....	15
4.2 Validering av Simulinkmodellen .....	15
4.3 Solcellsanläggning och ekonomi .....	15
4.4 Energilagring.....	16
5. Slutsats .....	17
6. Referenser .....	18
6.1 Personliga referenser.....	19
Bilagor	
Bilaga A - Behovsunderlag för solceller.....	20
Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik .....	26
Bilaga C - Simuleringsmodellering.....	38
Bilaga D - Simulering av solceller.....	53
Bilaga E - Ekonomi, energilagring .....	61
Bilaga F - Matlabkoder .....	69
Bilaga G - Förslagna åtgärder för att spara energi .....	75
Bilaga H - Ekonomisk dimensionering av .....	
solcellsanläggningens storlek.....	84
Bilaga I - Simulering av energilagring.....	95





# 1. Inledning

Skolfastigheter AB, som ägs av Uppsala kommun, har visionen att skapa trygga och hållbara miljöer för barnen och de anställda (Skolfastigheter AB, 2016). Almtuna förskola, belägen i Fålhagen öster om stadskärnan, ägs och förvaltas av Skolfastigheter AB. Förskolan byggdes 1990 och är ett enplanshus på 968 m<sup>2</sup>. Idag hyrs fastigheten av Iors och Löfteslandets förskola. I november-december 2015 utfördes ett lampbyte där all belysning byttes till Light Emitting Diodes (LED), en lysdiod som kräver mindre ström än traditionella glödlampan. Innebelysningen installerades med dimfunktion samt närvarostyrning på toaletterna.

## 1.1 Syfte

Projektets syfte är att undersöka hur mycket elektricitet som faktiskt sparades med bytet till LEDlampor. Det ska även med utgångspunkt ur detta tas fram ett underlag för ytterligare energieffektiviseringsåtgärder samt föreslå en plan för utbyggnad av solkraft med eventuell tillhörande energilagring.

## 1.2 Bakgrund och teori

Byggnadssektorn i Sverige står för ca 40 % av totala energikonsumtionen (Rosencrantz m.fl., 2005). En ökad miljömedvetenhet gör att det aktivt jobbas med att minska energianvändningen och producera energisnåla byggnader (Chua & Chou, 2011) eller effektivisera redan befintliga byggnader. För att öka andelen förnyelsebar energi kan solceller installeras. Solceller står för en minimal del av Sveriges elproduktion men har ökat kraftigt på senare tid och har stor potential (Palm, 2014).

### Energieffektivisering

Almtuna förskolas uppvärmning sker med fjärrvärme genom golvvärme. Ventilationen är ett FTXsystem, som rengörs en gång per år. X står för värmeväxlare som i detta fall är en roterande värmeväxlare. FT innebär att det finns två fläktar där tilluft (TF) i denna byggnad drar 3,5 kW vid full effekt och frånluft (FF) drar 2,0 kW. Trycket på sugsidan för TF är 460 Pa och 130 Pa vid trycksidan. För FF är motsvarande siffror 360 och 50 Pa. Byggnaden har standard 2-glasfönster, resterande byggnadsmaterial är okänt. Både fjärrvärmerna och elektriciteten levereras av Vattenfall (Vattenfall, 2016), abonnemanget på elektriciteten har både en fast och en rörlig del.

Det krävs värmeväxlare till och från byggnaden för att bibehålla ett behagligt klimat inomhus, som uppvärmning och ventilation. Ventilationen konsumerar även elektricitet liksom belysning och vitvaror. Förutom de önskade flödena sker det förluster. Dessa förluster är transmission genom väggar, tak, golv, fönster och dörrar. Byggnaden får viss värme från solinstrålning genom fönstren (Harish & Kumar, 2015). Exempel på effektiviseringar som går att göra på befintliga byggnader är byte till energisnåla produkter och system som ventilation, isolering samt byte av fönster (Chua & Chou, 2011).

### Solceller och växelriktare

I Sverige säljs det fler polykristallina än monokristallina solceller och ett begränsat antal tunnfilmssolceller (Kovacs, 2015). Denna studie har undersökt vilka solceller som är mest ekonomiskt fördelaktiga för Almtuna förskola vilket har legat till grund för valet av solceller.

Verkningsgraden för monokristallina är 15-20 %, men kostar mer än de andra solcellstyperna. En av fördelarna med monokristallina är att de är mer platseffektiva, vilket innebär att de genererar högre effekt än tunnfilm och polykristallina på samma yta. Polykristallinas verkningsgrad ligger mellan 13-16 % (Energy informative, 2016), men klarar högre temperaturer bättre än monokristallina (Wiksell, 2015). Tunnfilm har lägst verkningsgrad på 5-12 % (Energiforsk, u.å) (se bilaga A). De solceller som har undersökts har enligt ett test av SP (Sveriges tekniska forskningsinstitut) en livslängd på minst 30 år (Kovacs, 2015).

Till varje anläggning krävs en växelriktare som omvandlar DC-ström till AC-ström (Sanaie & Schenkelberg, 2013). Det finns enfas och trefas växelriktare. Ö-drift är då solcellsanläggningen fortsätter att generera spänning till elnätet vid nätbortfall till exempelvis strömavbrott, vilket kan påverka utrustningen negativt och är en säkerhetsrisk för personalen (McEvoy m.fl., 2012). I en solcellsanläggning kan man ha olika typer av växelriktare, de vanligaste är lokala och centrala växelriktare.

Parametrar som påverkar elproduktionen från solcellerna är solinstrålning, temperatur, hopkoppling av moduler, skuggning, skötsel och underhåll samt lutning.

## **Energilagring**

I takt med att mängden förnyelsebara energikällor ökar i dagens energisystem blir energilagring allt viktigare. Större andel sol- och vindkraft leder till kraftigare produktionstoppar, både inom storskalig såväl som småskalig energiproduktion. Dessa produktionstoppar gör det möjligt att lagra energi, en lagringspotential. Lagringspotentialen kan sedan användas när energibehovet är större än energiproduktionen (Larsson & Ståhl, 2012).

För solkraft används idag främst batterier som energilager, där en rad olika batterityper är under utveckling (Nordling m. fl., 2015). Alternativet till att lagra överskottseln från solkraft har tidigare varit att sälja överskottseln till nätbolag, då batterier, enligt Nordling, har ansetts som en icke ekonomisk lösning för energilagring. Nu förväntas dock skalfördelar samt teknisk innovation sänka batteripriserna. Främst förväntas priset på litiumjonbatterier minska markant under de närmaste åren (Nordling m. fl., 2015).

För att energilagring i batterier ska bli ett alternativ inom energisystem ställs höga krav på dem. Batteriet bör ha bra livslängd, hög energieffektivitet, liten självurladdning samt klara av klimatet väl (Xingchi m. fl., 2012). Batteriets livslängd påverkas av antalet upp och urladdningscykler samt batteriets Depth of Discharge (DOD). DOD är den rekommenderade urladdningen i förhållande till batteriets totala kapacitet, angiven i procent. Urladdningar inom DOD intervallet ger batteriet en bättre livslängd (Martin, 2015).

## 2. Material och metod

### 2.1 Data och källor

Denna studie har till viss del utförts i form av litteraturstudier. Vetenskapliga artiklar har hämtats från Sveriges lantbruksuniversitet, SLU:s databaser Web of Science, Scopus och Google Scholar. Det har även studerats rapporter inom ämnet i form av examensarbeten eller skrivna av företag.

Information om byggnaden har erhållits från Skolfastigheter AB, så som ritningar, OVK-dokument (Obligatoriskt Ventilationskontroll), energideklaration m.m. Energiförbrukningen finns timvis på "mina sidor" på Vattenfalls hemsida (Vattenfall, 2016). Data gällande antal och modell av de installerade LEDlamporna erhöles från företaget Gulliksson El AB (Gulliksson, 2015) som utförde installationen.

Under projektets gång gjordes ett studiebesök på Ngenic (Ngenic, 2016) vilket gav en inblick och ökad kunskap om ny teknik gällande "smarta" styrsystem. Även Almtuna förskola besöktes, både huvudbyggnaden och driftcentralen.

Under studiens gång har även ett antal personliga möten ägt rum med kunniga personer inom de relevanta ämnesområdena för studien. Se referens lista under personliga referenser.

### 2.2 Energieffektivisering

De teoretiska värdena för elförbrukningen efter lampbytet gjordes genom två olika metoder:

- Den första metoden bygger på antagna värden från Energimyndigheten samt liknande projekt för att ge en uppskattad bild av ett teoretiskt resultat.
- Den andra metoden är en mer ingripande beräkning med effektvärden där energiförbrukningen uppskattades för de nya samt äldre lamporna, även uppskattade drifttider användes (för mer information se bilaga B).

Denna studie undersökte möjligheten att utföra följande på Almtuna förskola:

- fönsterbyte till fönster med bättre U-värde, vilket mäter hur bra isoleringsförmåga en byggdel har, ju lägre tal desto bättre,
- förbättrad isolering,
- återkoppling på kökets luftflöden,
- byte av fläktar till energisnålare, t.ex. EC-fläktar som är elektroniskt drivna,
- utbyte av torkskåp till energisnålare modell,
- "smarta" styrsystem.

U-värdena för fönsterbytet och isoleringen kan ses i tabell 1 för både innan och efter tänkta åtgärder.

Tabell 1. U-värde för olika byggnadsdelar har innan och efter isolering och fönsterbyte.

Byggnadsdel	U-värde innan <sup>a, b</sup> , Wm <sup>2</sup> K	U-värde efter <sup>c</sup> , Wm <sup>2</sup> K
Väggar	0,23	0,18
Tak	0,18	0,13
Fönster	1,5	1,2
Dörrar	2,0	1,2

<sup>a</sup>: Energimyndigheten, 2007.

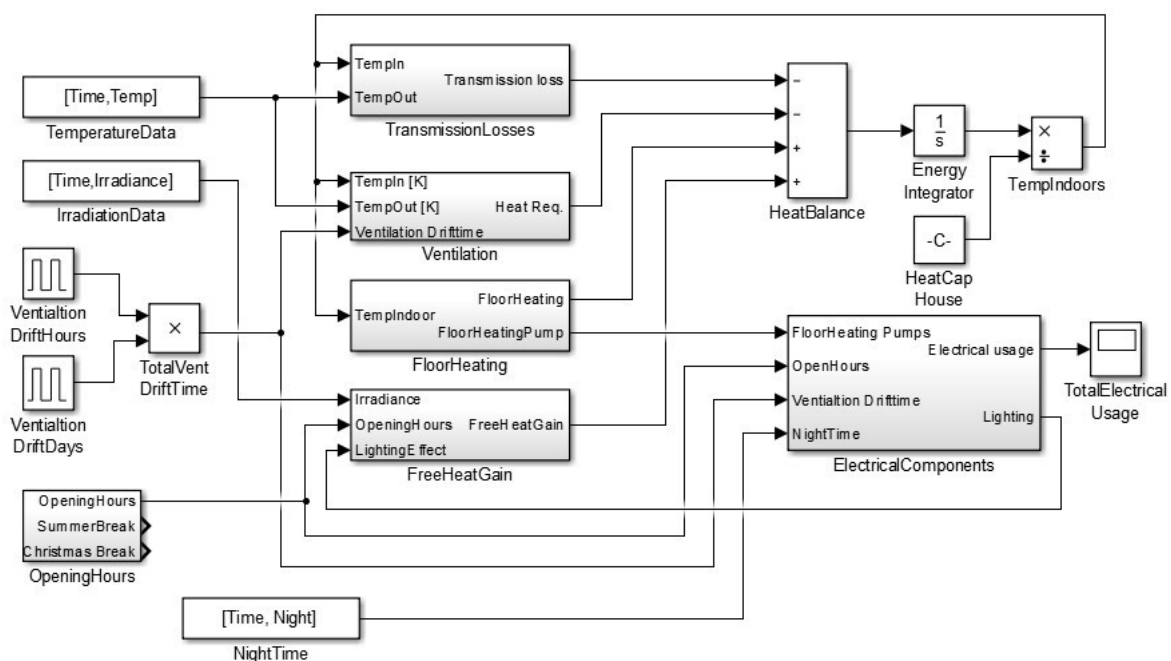
<sup>b</sup>: Saidzadeh, 2013.

<sup>c</sup>: Boverket, 2015.

De fläktar som undersöktes var EC-fläktar av modellen MXPC45RD-2040 Låg, F-fälten drog 1196 W och T-fläkten 1706 W vid de uppmätta trycken. Kostnade per fläkt är 30 068 kr. De nya torkskåpen var av modell Cylinda TS 190VP ECO, med märkeffekt 900 W, torktid på 2 timmar och inköspris på 17 195 kr

## 2.3 Simulering i Simulink

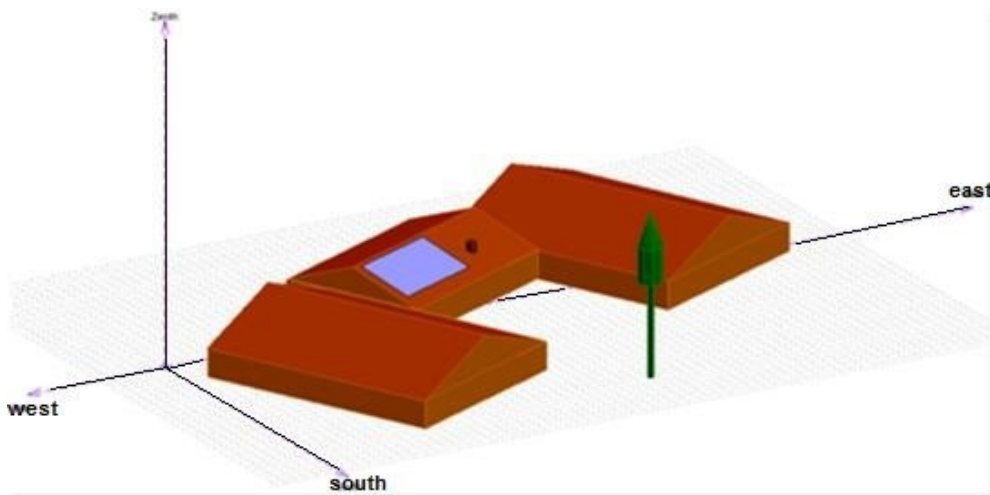
En modell av Almtuna förskola byggdes i programmet Simulink för att beräkna förbrukningen av fjärrvärme och elektricitet före och efter den genomförda effektiviseringen samt efter de effektiviseringar som står i delen 2.2 *Energieffektivisering*. Modellen som kan ses i figur 1 består i huvudsak av sex delsystem, fyra för byggnadens värmeflöden, ett för elektricitetsanvändning och ett för förskolans öppettider (se bilaga C). Indatan för modellen var utomhustemperatur, solinstrålning och mörkertimmar på timbasis. Golvvärmen som står för majoriteten av värmeförseln reglerades så att inomhustemperaturen hölls på ett minimum av 21 °C. Modellen anpassades så att simulerade värden utifrån indatan stämde överens med förbrukningsdatan för samma period.



Figur 1. Modell av Almtuna förskolas värmebalans och elektricitetsförbrukning. De gråa blocken representerar delsystem med inparametrar till vänster i blocket och utparametrar till höger. Blocken "TemperatureData", "IrradiationData" och "NightTime" importerade data från Workspace i Matlab.

## 2.4 Simulering i PVsyst

Programvaran PVsyst (PVsyst, 2016) användes för framtagandet av solcellsanläggningen. Med hjälp av ritningar, solkartan och bilder på byggnaden byggdes en 3D-modell upp av byggnaden i PVsyst med taklutning 20 grader (figur 2). Modellen tog hänsyn till omgivningsfaktorer så som träd samt orienteringen av byggnaden. Skuggningen av solcellsmodulerna kunde därmed studeras även parametrar som solinstrålning och temperatur togs i beaktning. Simuleringar genomfördes för olika scenarion för att undersöka vilket av de tre taken som gav mest elproduktion från solcellsanläggningen. Taken jämfördes genom att använda samma antal solcellsmoduler och växelriktare på respektive tak.



Figur 2. Tre D-modell av byggnaden i PVsyst. Den gråblå fyrkanten är solceller och den gröna stolpen representerar träd. Pilarna visar väderstrecken.

Väderdaten för den aktuella platsen hämtades från PVGIS (PVGIS, 2014), ett program som räknar ut energiproduktionen från solcellsanläggningar (se bilaga D). I simuleringarna användes albedovärdet 0,2, som är standardvärdet för urbana förhållanden (Mermoud & Wittmer 2014). Albedovärdet är ett mått på hur mycket solljus som reflekteras, 0,00 albedo betyder att inget ljus reflekteras. I denna studie användes en central växelriktare då de är enklare att reparera och byta ut än lokala (Solcellforum, u.å). Växelriktaren hade trefas då det minskar ö-drift. Växelriktare har en garanti på mellan 10 och 20 år (Sanaie & Schenkelberg, 2013), i denna studie antogs livslängden vara 15 år.

## 2.5 Ekonomi

Med hjälp av Excel (Excel, 2016) och PVsyst beräknades de ekonomiska skillnaderna mellan två monokristallina solcellsmoduler och en polykristallin solcellsmodul, samt val av växelriktare. Parametrar som togs i åtanke var inköpspris för växelriktare och solcellsmoduler, installationskostnader, övriga kostnader som till exempel extra kablar, effektgaranti och elpriset. Ekonomiska beräkningar för lagring och försäljning av skolanläggningens producerade elektricitet, grundade sig i det framtida förväntade elpriset med ett försäljningspris på 0,65 kr/kWh respektive inköpspris på 1,18 kr/kWh (se bilaga E).

Kostnaden beräknades per lagrad kWh som då kan jämföras med inköpspriset från nätet. PVsyst och Matlab (Matlab, 2016) (se bilaga F för Matlabkoder) användes sedan för att bestämma vilket antal moduler som var mest lönsamt. Framtida elförbrukning för Almtuna förskola erhöles från Simulinkmodellen. De ekonomiska beräkningarna för investeringskostnaden subtraherat med den minskade elanvändningen gällande energieffektiviseringsåtgärder använde sig av 1,44 kr/kWh som elpris.

## 2.6 Avgränsningar och antaganden

För att kunna utföra projektet gjordes vissa avgränsningar och antaganden. För modellen av byggnadens flöden i Simulink bortsågs bland annat vinden. Taket antogs vara platt och solinstrålningen som antogs komma in genom fönstren uppskattades till 10 % av den totala solinstrålningen. Eftersom det inte fanns data på byggnadsmaterial i väggar m.m. uppskattades U-värdena baserat på typiska skolbyggnader från 90-talet. Vid kalkylering av solcellskostnader bortsågs skötsel av solcellerna trots att lutningen är på 20 grader och inte 33 grader som det ska vara för att väder och vind ska sköta rengöringen.

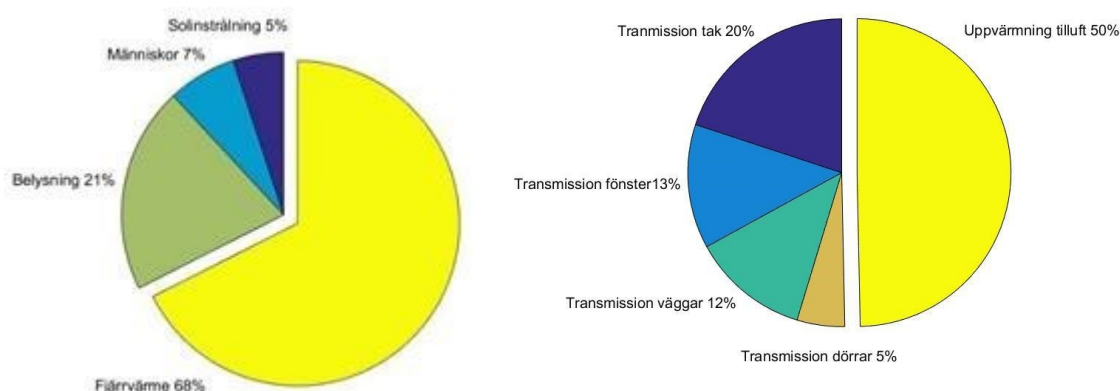
I PVsyst väljs modul och växelriktare utefter företag. Informationen om modulerna och växelriktarna kommer från företagen själva vilket inte alltid stämmer överens med verkligheten, till exempel verkningsgrad. De undersökta företagen för solceller var SunPower, Haeron, JA Solar och CentroSolar och växelriktare, SMA, SolarEdge, CentroSolar (PVsyst, u.å). Det finns många olika tillverkare av solceller, men rapporten begränsades till att enbart testa två monokristallina och en polykristallin solcell. Solcellsleverantör erbjuder främst paketerbjudanden baserat på huset i fråga. Det var möjligt att få tillgång till dessa paketpriser för de olika scenarierna. Därför baserades kostnaden för solcellsanläggningen på styckepriser för de olika komponenterna. Installationskostnaden och övriga kostnader antogs vara 30 % av det sammanlagda priset för solcellsmodulerna och växelriktarna.

### 3. Resultat

#### 3.1 Värmebalans

Simuleringsmodellens totala värmeförluster uppskattades till omkring 96 400 kWh. Hur värmeförlusterna är fördelade via transmission genom olika byggnadskomponenter och uppvärmning av tilluft framgår av figur 3. Tillskottet av värme sker via gratisvärme och ett värmesystem. År 2015 tillfördes totalt 108 600 kWh, hur stor andel som tillfördes av respektive värmekälla redovisas i figur 3.

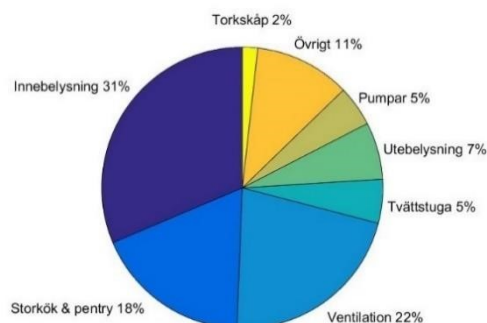
Enligt simuleringsmodellen ledde inte bytet till ny LED-belysning till någon markant ökning av fjärrvärmeförbrukningen.



Figur 3. Simulerade värmetillskott (108 600 kWh, till vänster) och värmeförluster (96 400 kWh, till höger) för Almtuna förskola under året 2013.

#### 3.2 Elanvändning

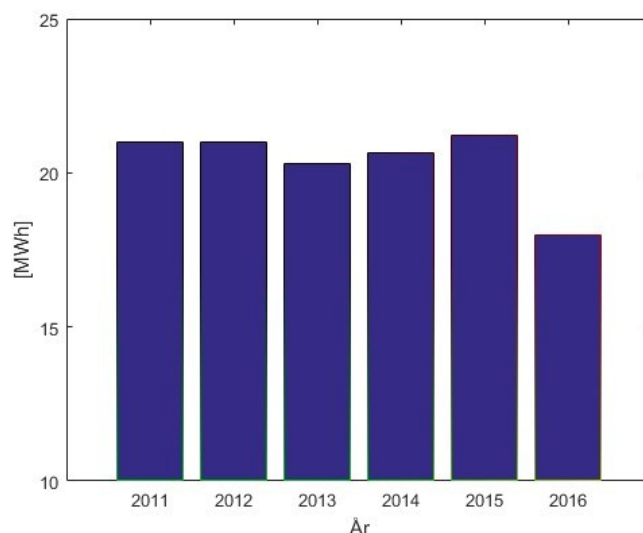
Simuleringsmodellen användes till att uppskatta elförbrukningen hos Almtuna förskola före och efter bytet av belysning. Dess totala elförbrukning uppskattades till omkring 79500 kWh för år 2015, hur elförbrukningen är fördelad mellan olika poster visas i figur 4. Det framgår att belysningen svarar mot 38 % av den totala elförbrukningen, vilket motsvarar cirka 30100 kWh/år. Enligt modellen minskade elanvändningen för belysning till 13100 kWh vid bytet till LED-teknik vilket motsvarar en minskning på 16 procent av den totala elanvändningen.



Figur 4. Simulerad elanvändning för Almtuna förskola under året 2015 uppdelad på olika poster innan bytet av belysning. Den totala elanvändningen uppskattades till 79600 kWh under 2015.

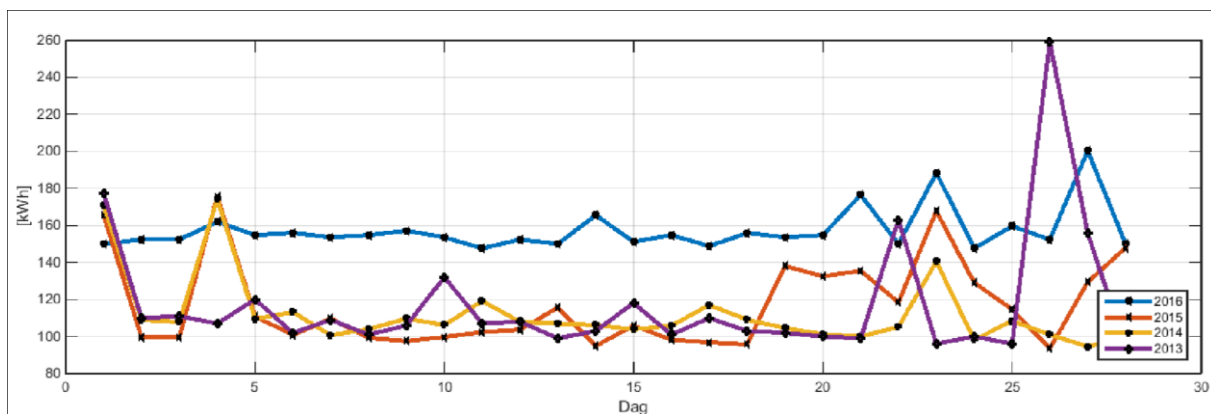
### 3.3 Uppföljning

Vid uppföljning av lampbytet undersöktes huruvida den uppmätta besparingen avviker från den i teorin förväntade. Den uppmätta besparingen erhöles med hjälp av förbrukningsdatan från Vattenfall (Vattenfall, 2016), vilket illustreras i figur 5 och beräknades till 14 % av den totala elanvändningen för Almtuna förskola (se bilaga B). I de teoretiskt beräknade metoderna förväntades dock att den totala elanvändningen skulle minska med 22 %. Studien undersökte även separata elförbrukningen för vardagsdagar, vardagsnätter och helger. På vardagar, både dagar och nätter, hade elförbrukningen minskat medan elförbrukningen under helger var högre än innan lampbytet. Elförbrukningen hade alltså minskat under vardagarna men ökat under helgdagar mellan klockan 06.00-18.00 vilket framgår från figur 6. Den totala elförbrukningen minskade enligt figur 5.



Figur 5. Den totala uppmätta elförbrukningen i MWh från januari till mars under åren 2011-2016 för Almtuna förskola (Vattenfall, 2016).

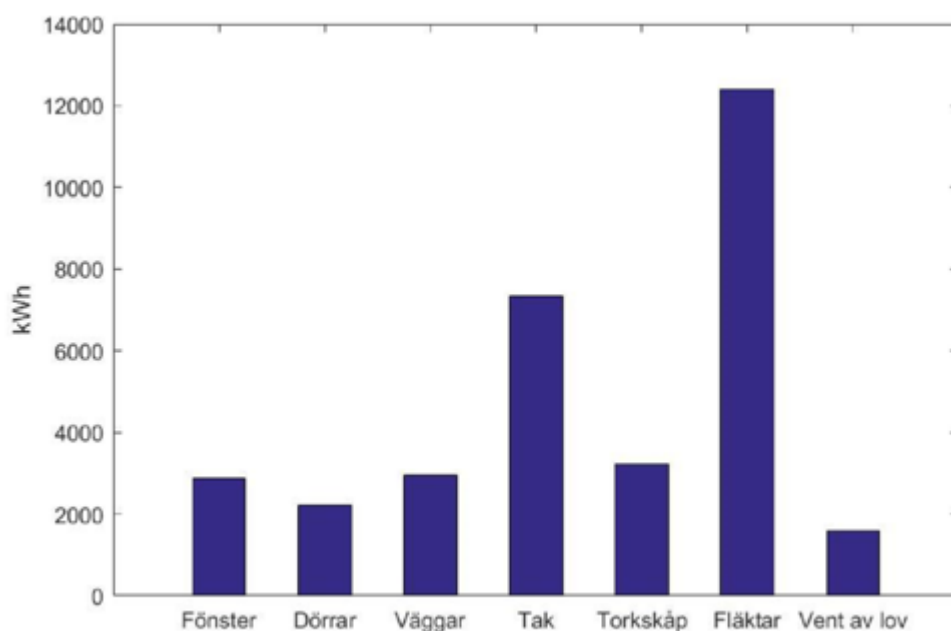




Figur 6. Uppmätta elförbrukningen i kWh för de första 28 helgdagarna för åren 2013-2016 (Vattenfall, 2016).

### 3.4 Vidare energieffektivisering

De vidare energieffektiviseringsåtgärderna som undersöktes med hjälp av simuleringsmodellen var ventilationsfläktar, dörrar och fönster och de som undersöktes genom litteraturstudier var utbyte av befintliga torkskåp, "smarta" styrsystem samt hur drifttider för ventilationen kan förbättras (se bilaga G). De uppskattade energibesparingarna för respektive åtgärd visas i figur 7. Återkoppling av kökets luftflöden uteslöts då det skulle medföra matos och lukter i hela byggnaden.. Vid byte av fönster och dörrar samt tilläggsisolering av väggar och tak minskade behovet av tillförd värme via byggnadens värmesystem. Vid byte av torkskåp och fläktar samt avstängning av ventilation under lov minskade istället användningen av elektricitet.



Figur 7. Energibesparing i kWh för respektive energieffektiviseringsåtgärd. *Torkskåp* uppskattades genom beräkningar resterande åtgärder simulerades i Simulink.

Utifrån fjärrvärmekostnaderna och elektricitetskostnaderna beräknades besparingarna för respektive energieffektiviseringsåtgärd som visas i tabell 2. Vid byte av torkskåp och fläktar samt avstängning av ventilation minskar användningen av elektricitet. Effektiviseringsåtgärder gällande dörrar, fönster, väggar och tak minskar istället användningen av fjärrvärme.

Tabell 2. Uppskattade kostnadsbesparing och "återbetalningstid" för respektive energieffektiviseringsåtgärd.

Åtgärd	Uppskattad besparing <sup>a</sup> , kr	Uppskattad "återbetalningstid" <sup>b</sup> , år
Byte av torkskåp	4 600	30
Byte av fläktar	17 400	5,8
Ventilationen av under lov	2 400	0
Byte av dörrar	1 600	21
Byte av fönster	2 100	60
Tilläggsisolering av väggar	2 100	26
Tilläggsisolering av tak	5 300	21

<sup>a</sup>: Beräknas genom att multiplicera den minskade elförbrukningen med 1,44 kr/kWh.

<sup>b</sup>: I återbetalningstidens beräkning ingick inköpspris och installation subtraherat med uppskattad besparing.

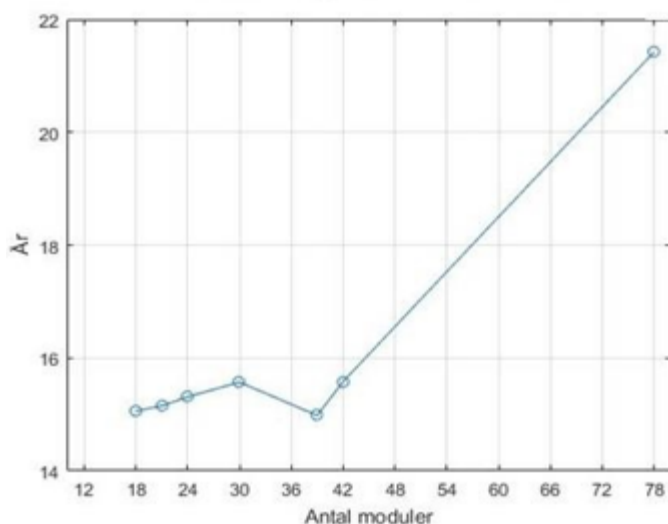
Enligt litteraturstudie är produkten Ngenic tune från Uppsala baserade företaget Ngenic ett lämpligt "smart" styrsystem för Almtuna förskola. Ngenic tune kallas även en "smart termostat" och kopplas till fjärrvärme och kan sänka fjärrvärme förbrukningen med cirka 20 % (bilaga G). Styrdosan kommunicerar med en fjärrvärme leverantör för att reglera fjärrvärmeförseln på ett effektivt sätt. Produkten gör också att temperaturen inomhus blir reglerbar, som ökar komforten inomhus. investeringskostnad ligger på cirka 2000-5000kr. För mer information om Ngenic tune och andra "smarta" styrsystem se bilaga G (Ngenic, 2016).

### 3.5 Solkraft

Simuleringar i PVsyst resulterade i att placeringen av solcellsmodulerna på den centrala byggnaden (figur 2) gav högst elproduktion. Elproduktionen från modulerna minskade från 7 till 8 % om de placeras på något av de andra två taken. Känslighetsanalys på val av solcellsmoduler och växelriktares utfördes genom att jämföra två monokristallina solceller och två växelriktare. De solceller som jämfördes var Haeron och SunPower med märkeffekt 320 W respektive 327 W och växelriktarna var från SMA och SolarEdge. Modulen från Haeron behövde 20 % större yta och minskade elproduktionen med 8 % vid test av 24 moduler. Medan valet av växelriktare enbart resulterade i en skillnad på 0,5 %. Påverkan av olika parametrar så som orientering och omgivningsfaktorer, storlek och antal träd, undersöktes på samma sätt och resulterade i en skillnad på mindre än 0,5 % (se bilaga D).

Resultat från simuleringarna i PVsyst visade att solcellsmoduler från JA Solar, tillsammans med växelriktare från Centrosolar gav bäst produktion i förhållande till priset för investeringen (se kvot tabell H-3 bilaga H). Priset inklusive moms för en anläggning med moduler från Ja solar, växelriktare från Centrosolar och installation uppskattades till 17.5 kr/W (tabell H-2 bilaga H).

För att avgöra vilken storlek på anläggningen som hade kortast "återbetalningstid" gjordes ett antal beräkningar med olika storlekar på anläggningen. I "återbetalningstiden " ingick kostanden för solcellsmodulerna, växelriktare, byte av växelriktare, installationskostnader, inköps av el från nätet och försäljnings av överskottet. Hur "återbetalningstid" påverkas av storleken på anläggningen återspeglas i figur 8.



Figur 8. "Återbetalningstid" för olika antal moduler från JA Solar och växelriktare från CentroSolar. Se ovanstående paragraf om vad som ingick i "återbetalningstiden".

Från 18 upp till 30 moduler ökade återbetalningstiden för investering- och installationskostnader. Vid 39 moduler minskar "återbetalningstiden" till 15 år för att sedan öka igen med ökad storlek på anläggningen. Maxeffekten för anläggningen med 39 solcellsmoduler av JA Solar är 10,1 kWp, har arean 64 m<sup>2</sup> och uppskattades producera cirka 10500 kWh per år, vilket är 16 % av den simulerade elförbrukningen för 2016. Förskolan kan utnyttja 14 % av elproduktionen till sin elförbrukning och den övriga elproduktionen säljs.

### 3.6 Lagringspotential

Lagringstillfällena över ett år visas i figur 9. Vid närmare undersökning av simulerade lagringstillfällena upptäcktes att lagringstillfällena av solkraft främst uppkommer under helger. I figur 10 visas lagringstillfällena för maj till juni för 2016 simulerade årsförbrukning av el.

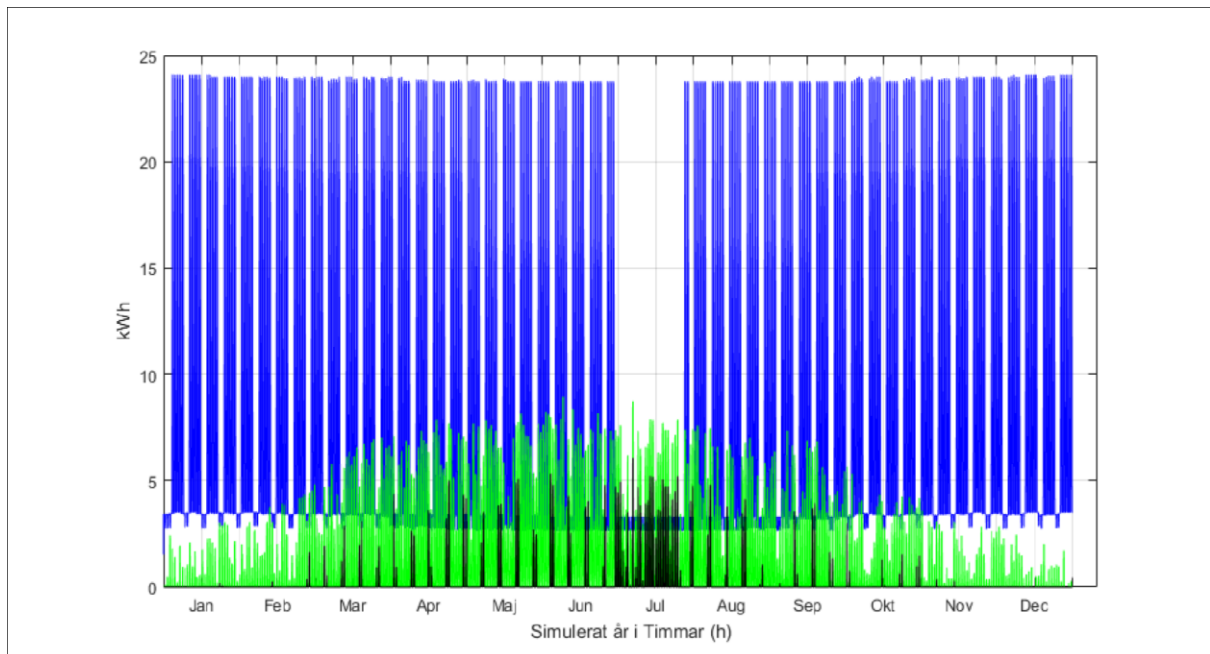
För Almtuna förskola rekommenderar denna studie ett LiFePO<sub>4</sub>-batteri väljas som batterilager. Anledning till valet av ett LiFePO<sub>4</sub>-batteri är dess långa livslängd, höga energieffektivitet samt goda förmåga att klara spridda upp- och ur-laddningar. Batteriet bör dimensioneras till en storlek på 4,1 kWh (se bilaga I).

Den förväntade lagringspotentialen över ett år för den valda dimensioneringen av batteriet, på 4,1 kWh, uppgår till 250 kWh, se tabell 3. Livslängden för batteriet uppskattades till 19 år och investeringskostnaden till 24 500 kr. Uppskattad lagringskostnaden under denna period är 4,9 kr per kWh. Mellanskillnad utgör det uppskattade elpriset när intäkter från försäljning av solproducerad elektricitet har dragits bort från det ursprungliga inköpspriset för elektricitet.

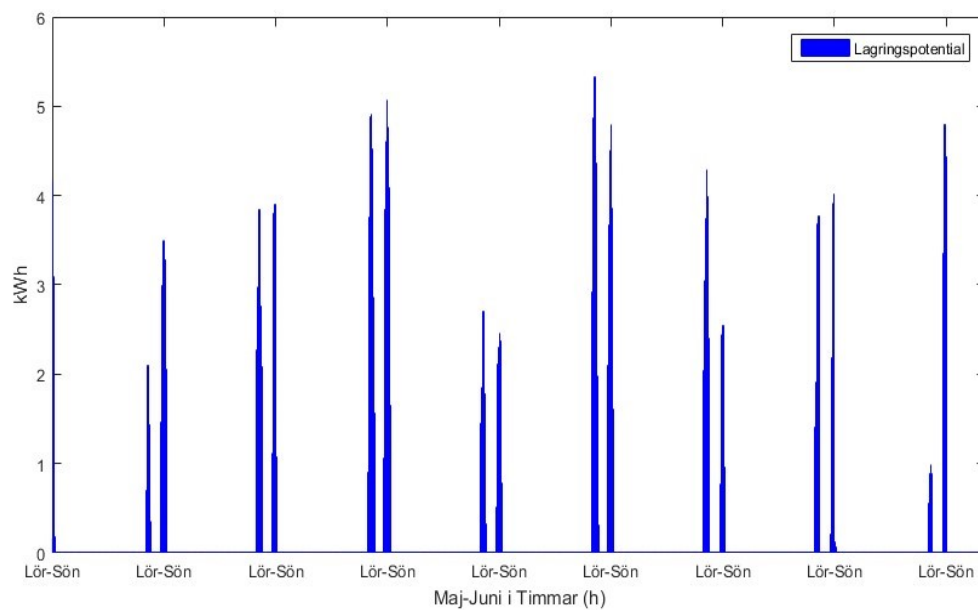
Tabell 3. Uppskattade lagringspotentialen för ett batteri, på 4,1 kWh, är 250 kWh/år. Med detta blev det 28 kWh förluster per år och 1050 kWh kan sälja still elnätet. Batteriers livslängd var 19 år och hade 105 cyklar per år.

Förväntad lagring <sup>a</sup> , kWh/år	Förluster, kWh/år	Överskott till elnätet, kWh/år	Cyklar, antal/år	Batteriets livslängd, år
250	28	1050	105	19

<sup>a</sup>: Den totala mängden elektricitet som uppskattas ha lagrats i batteriet under ett år.



*Figur 9.* I de blå staplarna visas simulerad elförbrukningen (se bilaga C) per timme för framtida år, alltså ett års elförbrukning efter lampbytet. Producerad solkraft per timme från solpanelerna visas i de gröna staplarna. Uppskattad lagringspotentialen per timme för det simulerade året visas i de svarta staplarna (bilaga D).



*Figur 10.* Den uppskattade lagringspotentialen per timme för maj till och med juni under framtida år, med simulerad årsförbrukning, visas i de blå staplarna.

## 4. Diskussion

### 4.1 Energieffektivisering

Den teoretiskt beräknade minskningen av elkraft efter lampbytet låg på 22 % vilket jämfördes med den uppmätta minskningen på 14 % enligt förbrukningen på Vattenfall. En tydlig trend i resultaten av den verkliga förbrukningen var att det har skett en minskning av elförbrukningen på vardagar och ökning på helgerna. Enligt förskolelärarna på Almtuna fanns det inte någon aktivitet på helgerna vilket ledde till slutsatsen att ventilationen var på.

Om man bortser från ökningen på helgen skulle den teoretiska och verkliga minskningen av elkraft stämma väl överens. Den verkliga minskningen skulle då ligga på 20 %. En bidragande faktor till resultatet är att komfortbelysningen har höjts, till exempel ute på gården installerades en helt ny stolpe. Vid uträkningarna av den teoretiska minskningen av elkraft gjordes flera antaganden, exempelvis antogs att dimfunktionen drog 70 % av full effekt. Eftersom elpriset alltid varierar är det svårt att förutspå exakta framtida besparingar. Ett medelvärde för de senaste månadernas elpris användes i uträkningarna vilket ger en bra men inte helt rättvis bild av framtida kostnadsbesparingar.

Flera av de undersökta framtida åtgärderna visade sig inte vara tillräckligt energibesparande för att rättfärdiga investeringskostnaderna och tiden det tar att utföra. Inkludering av kökets luftflöden i frånluftsystemet uteslöts då köksluften för med sig matos och lukter. Även köp av nya torkskåp rekommenderades inte då återbetalningstiden för inköp och installation är 30 år. Isolering av väggar, tak och byte av fönster och dörrar rekommenderas inte heller då byggnaden redan har relativt låga U-värden. Dessa uppskattades då information om byggnadsmaterial inte fanns. Det gjordes även en förenkling att ventilationen var avstängd från 18.00 - 6.00 vardagar och hela helger medan den egentligen gick på lägre effekt, hur mycket lägre var är inte känt.

Projektet föreslår att ventilationens fläktar byts ut mot EC-fläktar då de är energisnålare och kräver mindre underhåll. Enligt simulerade värden kan minska elförbrukningen med ca 12 000 kWh på ett år. Denna studie anser därför att ett byte till EC-fläktar skulle bidra till en ekonomisk investering. Anledningen till att simuleringen av skolanläggningen och lagring av den producerade elen baserades på en elförbrukning utan byte av ventilation var för att ventilationens siffror kom så sent under projektets gång att det inte hann tas med.

Det kan också vara intressant att undersöka "smarta" styrsystem närmare då det inte har gjorts undersökning exakt vad som skulle passa denna byggnad. En minskad elförbrukning fås genom att exempelvis inte ha ventilationen på full effekt på lov och röda dagar.

Ett motargument mot LED är att de genererar mindre värme än glödlampor men enligt Simulering ökade inte fjärrvärmeförbrukningen märkvärt vid bytet.

### 4.2 Validering av Simulinkmodellen

Valideringen av Simulinkmodellen visade att de simulerade värdena för elförbrukningen stämde väl överens med den uppmätta förbrukningen på månads- och årsbasis. Då modellen är uppbyggd av en mängd konstanter och faktorer kommer exempelvis tim- och dagsförbrukningen på vardagar i princip se likadan ut hela året. Både solcellsanläggningen och batterilagret är därför dimensionerade efter en sorts medeldag.

För fjärrvärmeförbrukningen stämde uppmätt och simulerad årsförbrukning väl överens för 2014. Dock fanns en anmärkningsvärd skillnad för år 2015, både på månads- och årsbasis. Det var dock svårt att anpassa och validera modellen för fjärrvärme då det enbart fanns tre års data att tillgå. Om felet ligger i modellen så påverkas besparingsberäkningar som utförs för effektiviseringar av byggnadens klimatskal.

### 4.3 Solcellsanläggning och ekonomi

Investering i en solcellsanläggning för Almtuna förskola gav förutom förnyelsebar elproduktion även en viss självförsörjningsgrad, det är också viktigt att investeringen är lönsam. Solcellsanläggningens

ekonomi påverkas dels av kostnaden för solcellsmodulerna, växelriktare och storleken för själva anläggningen.

Storleken på anläggningen är centralt, då detta avgör hur mycket som produceras. För den föreslagna solcellsanläggningen på 39 moduler kan förskolan utnyttja 14 % av den producerade elektriciteten. En installation av fler solceller skulle uppskattningsvis ge högre självförsörjning men skulle öka återbetalningstiden för investering och installationskostnader, då överskotten säljes men försäljningspriset per kWh ligger på närmare hälften av inköpspriset. En installation av färre moduler skulle minska investeringskostnaderna, men ge lägre självförsörjning och även öka "återbetalningstiden". Resultatet är baserat på flera antaganden så som installationskostnader och prisutveckling av både inköpspris och försäljningspris. Det är dock rimligt att anta att återbetalningstiden för investering och installationskostnader kommer ligga runt 15 år då vissa antaganden har överestimerats och andra underestimerats.

Enlig denna studie förlängdes återbetalningstiden för investering och installationskostnader mellan 18-30 moduler, detta berodde på att ökat antal moduler gav en större överproduktion. Att återbetalningstiden blev kortast med 39 moduler berodde på att en större växelriktare kunde användas vilket gav en lägre kostnad per Watt, då växelriktarens pris per Watt sjunker med storleken. En solcellsanläggning på 39 moduler möjliggör en framtida energilagring, vilket skulle innebära att förskolan kan vara mer självförsörjande då överskottet av elproduktionen kan användas vid ett senare tillfälle.

Flera känslighetsanalyser visade att storleken på omgivningens träd inte spelade stor roll på elproduktionen, inte heller val av växelriktare och orientering påverkade resultatet nämnvärt utan det som gav störst skillnad var val av solceller.

#### 4.4 Energilagring

Utifrån genomförda simuleringar framgick att lagring av överskottsel endast sker på helger, bortsett från sommarledigheten. Detta till följd av förskolans höga energiförbrukning under förmiddag/dag under veckodagarna. Detta ledde till en relativt låg total lagringspotential under året sett till batterilagrets storlek. Den låga lagringspotentialen gav en hög lagringskostnad per kWh samtidigt som endast små mängder el kunde lagras till att utnyttja spotprisets variation under dygnet alternativt minska topp effekter.

För att effektivisera användningen av batterilagret skulle batterilagret kunna dimensioneras så att det är tillräckligt stort för att lagra det mesta av överskottseln under helgen, för att sedan använda batterilagret under veckodagarna då energiförbrukningen är högre alternativt när elpriset är dyrt. En sådan lösning kräver dock en större investeringskostnad då batterilagret måste bli större.

Den uppskattade lagringskostnaden på 4,9 kr per kWh är ej ekonomiskt försvarbart. Det är i dagsläget mer ekonomiskt lönsamt att sälja överskottseln till nätbolag än att installera ett energilager på Almtuna förskola. Utifrån vald dimensionering av batterilagret är det inom de närmsta fem åren osannolikt att batteripriset kommer sjunka till en kostnadsnivå som gör det ekonomiskt lönsamt med ett batterilagret på Almtuna förskola. Detta då batterikostnaden behöver sjunka till ca 700 kr/kWh (tabell E-3 i bilaga E). Prognoser förutser en batterikostnad på ca 3740 kr/kWh år 2020 (Nordling m.fl., 2015). Lagringskostnaden per kWh skulle dock kunna sänkas på andra sätt än ett lägre batteripris. Andra faktorer som leder till minskad lagringskostnad är större andel solkraft på Almtuna förskola, minskning av fastighetens energiförbrukning samt teknikutvecklingen som leder till ökad livslängd för batteriet.

Energilagring kommer bli en viktig del i framtida energisystem och det finns idag många företag under utveckling som vill nå ut med sina lösningar av smarta energilager. De flesta av dessa företag riktar sig mot hushåll. Det kan därför finnas ett intresse för dessa företag att testa sina produkter på en skola eller arbetsplats där energiförbrukningen följer ett annat mönster. Skolfastigheter AB skulle kunna undersöka möjligheten för ett samarbete med ett sådant företag. Med installation av ett energilager skulle Skolfastigheter AB visa att de ligger i framkant gällande övergång till ett hållbart energisystem.

## 5. Slutsats

Uppföljningen visade att installationen av LED-lampor resulterade i en minskad elförbrukning vilket är både bra för ekonomin och miljön. Den uppmätta minskning som erhöles var 14 %. Då förskolan inte är uppkopplad till det gemensamma kontrollrummet tar det längre tid att upptäcka avvikelser, i detta fall hade förskolan en ökad helgförbrukning i hela fyra månader utan att det upptäcktes.

De undersökta åtgärderna (tilläggsisolering, byte av fönster och dörrar, ventilation, torkskåp och återkoppling av kökets luftflöden) visade sig inte vara tillräckligt ekonomiskt effektiva för att utföra. Med undantag för byte av ventilationens fläktar, som skulle ge en eventuell minskning på sin energiförbrukning på 47 %. Därför är detta något studien föreslår.

Som en både miljömässig och ekonomisk investering i längden föreslår studien installation av solceller på mitten taket. Solcellerna som föreslås är 39 st. moduler av typen monokristallina från JA Solar. De kommer enligt simulering i PVsyst producerar ca 10 500 kWh per år vilket motsvarar 16 % av förskolans elförbrukning. I praktiken skulle 14 % av förskolans elförbrukning täckas eftersom 2 % av elen från solceller skulle säljas som överproduktion. Den uppskattade återbetalningstiden för enbart investering + installation var 15 år.

Utifrån de genomförda simuleringarna framgick att överskottsel från solcellsanläggningen endast sker på helger, vilket leder till en relativt låg ekonomisk lagringspotential under året (ca 250 kWh). Studien visade att det var mer lönsamt att sälja den överproducerade elen.

Om lagringen skulle vara aktuell var alternativet med LiFePO<sub>4</sub>-batteri mest intressant på grund av sin långa livslängd och förmåga att klara spridda upp- och ur-laddningar.

## 6. Referenser

- Boverket. (2015). *Boverkets byggregler, Avsnitt 9 Energihushållning*  
<http://www.boverket.se/globalassets/vagledning/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-9> [2016-0512].
- Chua K. J. & Chou S. K. (2011). A performance-based method for energy efficiency improvement of buildings. *Energy Conversion and Management* 52, 1829-1839.
- Energiforsk. (u.å). SolEl-Programmet. *Moduler och cellteknologi*.  
<http://www.solelprogrammet.se/projekteringsverktyg/moduler/> [2016-04-11].
- Energimyndigheten. (2007). *Energianvändning & innemiljö i skolor och förskolor – Förbättrad statistik i lokaler, STIL2*
- Energy informative. (2016). *Which solar panel type is the best? Mono- vs. Polycrystalline vs. thin film*.  
<http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/> [2016-04-13].
- Excel. (2016). Microsoft Office. Download:  
[http://www.microsoftstore.com/store/mseea/sv\\_SE/pdp/Excel-2016/productID.324449500?s\\_kwid=AL!4249!3!54689834155!e!!g!!excel&WT.mc\\_id=pointitsem+G+oogles+Adwords+Excel+-+SV&ef\\_id=Vw5QNAAABYWL3vnL:20160523141624:s](http://www.microsoftstore.com/store/mseea/sv_SE/pdp/Excel-2016/productID.324449500?s_kwid=AL!4249!3!54689834155!e!!g!!excel&WT.mc_id=pointitsem+G+oogles+Adwords+Excel+-+SV&ef_id=Vw5QNAAABYWL3vnL:20160523141624:s).
- Gulliksson El AB. (2015). <http://www.gullikssonsel.se/>
- Harish V.S.K.V. & Kumar Arun. (2015). A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 1272-1292.
- Kovacs P. (2015). *Jämförande provning av Nätanslutna solelsystem 2014*. Borås: SP (Energiteknik Rapport, 4P05081):  
[http://www.svensksolenergi.se/upload/nyheter/nyheter2015/Provning\\_av\\_sma\\_natanslutna\\_solelsystem\\_EMSP\\_2015.pdf](http://www.svensksolenergi.se/upload/nyheter/nyheter2015/Provning_av_sma_natanslutna_solelsystem_EMSP_2015.pdf) [20160510].
- Larsson Ö. & Ståhl B. (2012). *Lösningar på lager*. VINNOVA. Swedish Governmental Agency for Innovation. VINNOVA Analys. ISSN: 1651-355X.
- Martin II J. (2015) *Why depth of discharge matters in solar battery storage system selection*. *Batteries & Energy Storage*. URL: <http://www.solarchoice.net.au/blog/depth-of-discharge-for-solar-battery-storage> [2016-04-18].
- Matlab. (2016). Version; R2016a. MathWorks. Download: <http://se.mathworks.com/products/matlab/>
- McEvoy A., Markvart T. & Castañer L. (2012). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. 2 uppl., UK:Oxford: Elsevier Ltd. ISBN 978-0-12-385934-1.
- Mermoud A. & Wittmer B. (2014). PVSYST user's manual: PVSYST6. Tillgängligt:  
[http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst\\_Tutorials.pdf](http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf).
- Ngenic. (2016). [https://ngenic.se/?gclid=CjwKEAajw1Iq6BRDY\\_tK-9OjdmBESJABlzoY7B5KD5newpV3hlJ7n33neUXPaJ\\_GIJfI82X5u\\_o5-jBoCJn7w\\_wcB](https://ngenic.se/?gclid=CjwKEAajw1Iq6BRDY_tK-9OjdmBESJABlzoY7B5KD5newpV3hlJ7n33neUXPaJ_GIJfI82X5u_o5-jBoCJn7w_wcB).
- Nordling A., Englund R., Hembjer A. & Mannberg A. (2015). *Energilagring, Teknik för lagring av el*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Sverige. ISBN: 978-91-7082-901-7.
- Palm A. (2014). An emerging innovation system for deployment of building-site solar photovoltaics in Sweden. *Environmental innovation and societal transitions* 15, 140-157
- PVGIS. (2014). PVGIS radiation databases. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html) [2016-04-21].
- PVsyst. (2016). PVsyst6, Evaluation mode. <http://www.pvsyst.com/en/software/download> [2016-05-24] PVsyst (u.å). Photovoltaics modules database. [http://files.pvsyst.com/help/modules\\_database.htm](http://files.pvsyst.com/help/modules_database.htm) [201605-24].



Rosencrantz T., Bülow-Hübe H., Karlsson B. & Roos A. (2005). Increased solar energy and daylight utilisation using anti-reflective coatings in energy-efficient windows. *Solar energy materials & solar cells* 89, 249-260.

Skolfastigheter AB. (2016). *Om Skolfastigheter*. <http://skolfastigheter.uppsala.se/Om-Skolfastigheter/> [2016-05-03].

Sanaie G. & Schenkelberg F. (2013). *Using Reliability Modeling and Accelerated Life Testing to Estimate Solar Inverter Useful Life*. ISBN: 978-1-4673-4709-9.

Saidzadeh M. (2013). *Energimodellering av ett flerbostadshus – en parameterstudie*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Solcellforum. (u.å) *Solceller: Lite fakta om solceller och solcellsystem* <http://www.solcellforum.se/tekniken.html> [2016-04-19].

Vattenfall. (2016). Mina sidor. <https://www.vattenfall.se/kundservice/om-mina-sidor/>

Wiksell M. (2015). *Underlag för solcellsproducerad el i Stockholm: Potential och klimatpåverkan*. Examenarbete, Uppsala: Uppsala universitet.

Xingchi W., Adelman P. & Reindl, T. (2012). *Use of LiFePO<sub>4</sub> Batteries in Stand-Alone Solar System*. Solar Energy Research Institute of Singapore & University of Applied Science Ulm, Germany

## 6.1 Personliga referenser

Andersson Göran. Försäljningschef på Ebm papst, Ångström Uppsala Universitet. 2016. Intervju 26 april.

Larsson Hugo. Grundare av Save-by-Solar Sweden AB, Ångström Uppsala Universitet. 2016. Intervju 13 april.

Lennström Stefan. Försäljningsingenjör Ebm paspt. Ångström Uppsala Universitet. 2016. Intervju 16 maj.

Bengtsson Kjell. Projektledare inom sol-el på Euronom. 2016. Intervju 20 april.

Östlund Micael. Teknisk förvaltare Skolfastigheter AB. 2016. Intervju 12 april.

## Bilaga A - Behovsunderlag för solceller

Anna Maria Albért, Maria Dalheim, Dennis Holmlund

2016-04-18

### A - 1. Inledning och syfte

Solceller är ett förnybart alternativ till att producera el. Idag är det en knappt synlig del av Sveriges energiförsörjning men investeringar sker och man kan se solceller på tak lite varstans. Denna bilaga ska ge bakgrundsinformation om solceller och parametrar som påverkar dess energiproduktion och fungera som stöd till vilka tekniker och parametrar som används i simuleringen av solcellerna på Almtuna förskola i PVsystem.

### A - 2. Solceller

Solceller är ett miljövänligt alternativ att generera el genom att omvandla energin från solens strålar till DC-ström (Sigurd & Stolt, 2016). Hur mycket DC-ström som genereras beror på ett flertal parametrar, några av dem är solinstrålning, infallsvinkel, celltemperatur och cellens momentana spänning (Energiforsk, u.å.). Varje enskild solcell är uppbyggd av ett halvledarmaterial i form av en tunn skiva eller film. Framsidan består av en genomskinlig kontakt, oftast glas, så att ljuset ska komma igenom. Även på baksidan finns en kontakt, men materialet där är mer varierande. När solen träffar solcellens yta absorberas energin och elektroner frigörs. Det uppstår en negativ laddning på ena sidan av solcellen och en positiv på andra vilket ger upphov till en spänning på ca 0,5 V. Eftersom spänningen per solcell är så låg kopplas flera solceller ihop för att nå önska spänning. För att skydda de känsliga solcellerna lamineras dem. De laminerade solcellerna kallas modul och en solcellsanläggning brukar bestå av flera moduler (Sigurd & Stolt, 2016). Marknaden idag domineras av kiselceller (Jansson, u.å.) och den ideella organisationen *The Silicon Valley Toxics Coalition* har undersökt olika företag som tillverkar mono- och polykristallina solceller och hur rankat hur miljövänliga de är (SVTC, 2015).

#### A - 2.1 Polykristallina solceller

Polykristallina solceller är uppbyggda av flera kiselkristaller. Kisel smälts och hålls i en form vilket leder till att det inte blir mycket svinn, däremot går det åt ca 35 % mer energi under tillverkningen än tunnfilm (McEvoy m.fl., 2012). Tillverknings sättet gör att polykristallina solceller är billigare än monokristallina men har lägre verkningsgrad, polykristallina klarar även av ökad temperatur bättre än monokristallina (Wiksell, 2015). Verkningsgraden ligger mellan 13-16 % (Energy informative, 2016).

#### A - 2.2 Monokristallina solceller

Monokristallina solceller består av en enda kiselkristall. Renheten gör att verkningsgraden är högre än för polykristallina solceller, men är också dyrare att tillverka (Sigurd & Stolt, 2016) och kräver stora mängder energi (McEvoy m.fl., 2012). Verkningsgrad varierar mellan 15-20 %. Andra fördelar med monokristallina solceller är att de är platseffektiva, d.v.s. de genererar mer spänning än polykristallina och tunnfilm på samma yta, de producerar också bra vid svagt ljus, till exempel en molnig dag. Nackdelen är att de är dyrare än de andra solcellstyperna (Energy informative, 2016). De har även fördelen att fungera bättre vid dålig infallsvinkel på solljuset (Wiksell, 2015).

## A - 2.3 Tunnfilm

Som namnet antyder är tunnfilm solceller mycket tunna, de har 3 µm aktivt material till skillnad från kiselceller som ligger runt 300 µm. Tunnfilm kan tillverkas av olika material och blandningar, gemensamt är att de alla kan absorbera solljuset på den korta sträckan 3 µm. På marknaden idag finns till exempel CIGS (koppar, indium, gallium och selen), amorft kisel, CdTe (kadmium och tellurium) och CIS (koppar, indium, selen). Tunnfilm tillverkas genom att applicera ett tunt lager av det aktiva materialet på ett substrat, exempelvis glas, rostfritt stål eller kapton. På så vis skapas en modul på en gång och tillverkningskostnaden blir lägre, även materialåtgången är låg. Tunnfilm kan göras flexibel, vilket har många fördelar. Dock är verkningsgraden låg endast 5-12 % (Energiforsk, u.å.). Generellt kräver tunnfilm 20 % mer yta än kiselceller för att uppnå samma installerade effekt. Däremot presterar tunnfilm bättre än mono- och polykristallina solceller vid skuggning. Det är endast det område som skuggats som förlorar sin effekt istället för hela panelen. En studie av Solar Frontier visar att tunnfilm ger 7 % mer el per år installerad effekt än kiselceller (Jansson, 2016).

## A - 3. Växelriktare

Växelriktare används för att omvandla DC-strömmen från solcellspaneler till AC-ström som då kan levereras ut på elnätet samt in i hemmet (Sanaie & Schenkelberg, 2013). De märks med sin totala effektkapacitet som kan variera från hundratals watt till megawatt (Kalogirou, 2014). Växelriktaren filtrerar strömmen för att minska övertoner, vilket reducerar ojämnheter i sinussignalen. En del växelriktare har på utgången en transformator som förbättrar filtreringen. Fördelen med en växelriktare utan transformator är att verkningsgraden blir några procent högre. Maximum Power Point Tracker (MPPT) är en funktion hos växelriktaren som maximerar effekten. Detta görs genom att identifiera högsta effekten på systemets IVkurva genom att styra DC-spänningen (SolEl-prog., u.å.).

Det viktigaste vid integrering av ett solcellssystem och elnätet är säkerhet. Vid nätbortfall t.ex. vid strömavbrott så måste växelriktaren stängas av automatiskt. Om den fortsätter att generera till elnätet kallas det ö-drift. Ö-drift är en säkerhetsrisk för personal och kan även påverka utrustningen negativt. Det finns enfas- och trefasväxelriktare. Enfasväxelriktare används vid lägre effekt, fördelen med trefas är att den har lättare att detektera ö-drift (McEvoy m.fl., 2012).

Det finns olika typer av växelriktare, de vanligaste är lokala och centrala växelriktare. En central växelriktare kan var placeras inne eller ute. Den kopplas till varje sträng, som är en grupp solpaneler som är parallellkopplade med varandra, en anläggning som innehåller 15 paneler har t.ex. 3 strängar. Nackdelarna med systemet är att om en panel skuggas så minskar den totala effekten för solcellspanelerna kraftigt och att det försvårar utbyggnad av anläggningen. Fördelarna är att växelriktaren är bättre skyddad mot utomstående påverkansfaktorer och finns på en plats (Solcellforum, u.å.). En lokal växelriktare sitter på varje solcellspanel och har varsin MPPT. Fördelarna är att vid skuggning påverkas inte effekten från de andra panelerna och vid fel på en enskild växelriktare kan anläggningen fortfarande producera elektricitet, (Diez-Mediavilla m.fl., 2014) samt att man inte behöver ha extra plats att förvara växelriktaren. Det är även enklare att efter installationen bygga ut anläggningen. Nackdelen med systemet är att de mindre växelriktarna vid varje panel påverkas av utomhus klimatet samt är svårare att reparera eller byta än om man har en central växelriktare (Solcellforum, u.å.).

## A - 4. Parametrar som påverkar energiproduktionen

### A - 4.1 Solinstrålning

Det finns direkt och diffus solinstrålning. Direkt är den som träffar jordens yta utan att spridas i atmosfären medan diffus når jorden genom ljusspridning genom atmosfären (Nationalencyklopedin, 2016). När man talar om global sollinstrålning menas den totala solinstrålningen, d.v.s. både direkt och diffus strålning. Det som mätningssinstrumenten mäter av vid varje tillfälle kallas global irradians vilket anges i W/m<sup>2</sup>. Integrerar man över tiden fås global irradiation vilket är den totala

## Bilaga A- Behovsunderlag för solceller

strålningens energi per ytenhet för en angiven tidsperiod, enheten är oftast kWh/m<sup>2</sup> eller MJ/m<sup>2</sup>. Globalstrålning används som ett mer vardagligt uttryck för global irradians och global irradiation (SMHI, 2016).

### A - 4.2 Temperatur

Solcellens prestanda påverkas negativt av ökande temperatur, då solcellens tomgångsspänning är temperaturberoende enligt:

$$V_{oc} = \frac{E_g^2}{q} + \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_{00}}\right) \quad \text{Ekvation A-1}$$

där  $V_{oc}$  är tomgångsspänningen,  $I_L$  fotonströmmen d.v.s. ljusgenererade elektron-hål-strömmen från solcellen ut till kretsen,  $T$  är temperaturen i kelvin,  $q$  är elementarladdningen,  $E_g$  är bandgapet,  $n$  är antal hål och  $k$  är vågvektorn.  $I_0$  är den karakteristiska strömkonstanten för den specifika solcellen och förhållandet till  $I_{00}$  skrivs:

$$I_0 = I_{00} e^{\frac{-E_g}{nkT}} \quad \text{Ekvation A-2}$$

(Zimmerman, 2016).

Hur stor minskning blir varierar beroende på typ av solcell (Zimmerman, 2011), men för kisel baserad solcell är ett riktvärde 2 mV minskning i spänning per grad ökning i kelvin (Zimmerman, 2016).

### A - 4.3 Hopkoppling av moduler

Solcellerna kan serie- eller parallellkopplas för att addera spänningen respektive strömmen. Vid parallellkoppling adderas strömmarna för varje cell. Spänningen för en parallellkoppling bestäms av den cell som har lägst spänning. För seriekoppling är det istället spänningen för varje cell som adderas och strömmen bestäms av cellen med den minsta strömmen (Henze m.fl., 2009).

### A - 4.4 Skuggning

Skuggning är ett stort problem för system baserat på solmoduler. Skuggning kan uppkomma från exempelvis kringliggande byggnader, skorstenen eller träd. Skuggning ger minskad instrålning, vilket leder till minskad ström i cellen, då instrålningen och strömmen är proportionella. För moduler kopplade i serie avgörs strömmen för serien av den modul med den svagaste strömmen. Om en cell skuggas ut så minskar strömmen i hela systemet, vilket påverkar uteffekten, då:

$$V_{oc} = \frac{E_g^2}{q} + \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_{00}}\right) \quad \text{Ekvation A-3}$$

där  $P$  är effekten,  $U$  är spänningen och  $I$  är strömmen. En liten skuggning av kristallin modul ger en markant minskad uteffekt, skuggning på mindre än 6 % utav modularean kan ge en 75 % minskning i effekt (Jansson, 2011). När en cell eller modul skuggas blir den en last för cellerna/modulerna den är kopplad till, dock kan systemet inte helt bli utskuggat, p.g.a. att diffust ljus alltid kommer nå modulerna.

För att minska påverkan från skuggning av en specifik cell är bypass dioder inbyggda i modulerna, bypass dioden kopplar förbi den utskuggade cellen. Normalt finns inte bypass dioder kopplade till varje specifik cell, då detta skulle medföra höga kostnader (Henze m.fl., 2009).

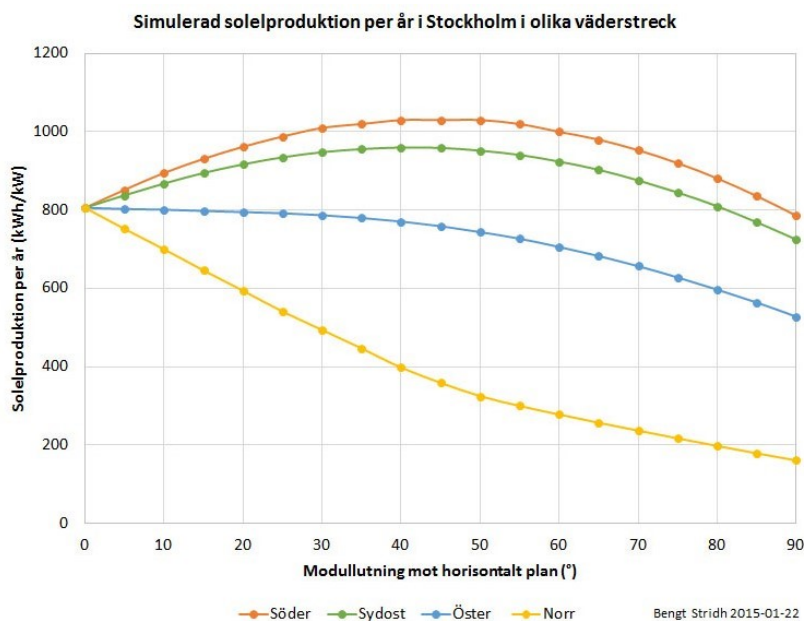
Solceller av typen tunnfilm är mindre känsliga för skuggning då dess celler sträcker sig över hela panellängden, vilket skuggningen sällan överens stämmer med. På grund av cellernas geometri är de därmed känsligare för parallellskuggning än horisontellt. För kristallina moduler är diagonal skuggning det störst problem, då det kan slå ut flera kretsar i modulen. Kristallina solceller har även en cellgeometri som lättare skuggas ut än tunnfilmscellen, vilket gör dem känsligare för skuggning (Jansson, 2011).

### A - 4.5 Skötsel/underhåll

Normalt påverkas inte energiproduktionen av smuts och liknande då regnet sköljer bort det mesta. Snötäckning kan däremot påverka, på Stockholms latitud minskar årsproduktionen med några procent om vinkeln är mindre än 33 grader. Kostnaderna för snöskottning måste vägas mot kostnaderna för minskad förbrukning (Energimyndigheten, u.å).

### A - 4.6 Lutningsvinkel

Förutom att det behövs annan rengöring av solcellerna vid lutning mindre än 33 grader är också vinkeln för solinstrålningen relativt viktig. Stridh (2015) har med hjälp av PVGIS undersökt den optimala lutningen i Stockholmsområdet. Beroende på vilken väderdata som användes blev den optimala lutningen i söderläge 40-50 grader enligt figur A-1. De andra väderstrecken har lite mindre optimal lutning. I söderläge var minskningen maximalt 7 % med lutningen 20 grader. I figur A-1 kan den producerade elektriciteten i kWh ses som en funktion av vinkeln i olika väderstreck. Stor del av Sveriges globala instrålning är diffus och diffus strålning är riktningsoberoende. Man kan se att söderläge med 40-60 graders lutning ger optimala soletproduktionen i Stockholmsområdet och förlusterna vid 20 graders vinkling är 7 %.



Figur A-1. Årliga soletproduktionen i olika väderstreck som funktion av lutningsvinkeln (Stridh, 2015).

### A - 5. Livslängd

Energimyndigheten har gjort ett test på nio olika mono- och polykristallina solcellsmoduler som visar att de tål Sveriges hårda klimat bra. Generellt sägs modulerna ha 25-30 års livslängd (Energimyndigheten, 2015) men monokristallina kan fungera upp till 40-50 år (Uddevalla energi,

## Bilaga A- Behovsunderlag för solceller

2013). Tillverkarna ger ofta en garanti att solcellsmodulerna ska producera 80 % av sin ursprungliga effekt efter 25 år (Rydell, 2015). Växelriktare har oftast en garanti på 10 år och vissa produkter på marknaden har 20 års garanti. Enligt en studie av Schenkelberg och Sanaie (2013) så har växelriktare 80 procents tillförlitlighet över en 10 års period.

### A - 6. Slutsats

De finns olika modeller av solceller där varje modell har sin fördel. Därför bör det undersökas vilken modell som passar bäst i just detta fall. Även valet av växelriktare har betydelse. Studien kommer att ta hänsyn till solinstrålning, skuggning, lutningsvinkel och livslängd.

### A - 7. Referenser

- Diez-Mediavilla M., Dieste-Velasco M.I., Rodríguez-Amigo M.C., García-Calderón T. & Alonso-Tristán C. (2014). *Performance of grid-tied PV facilities based on real data in Spain: Central inverter versus string system*. Burgos: Universidad de Burgos: Elsevier Ltd.
- Energiforsk, (u.å.). SolEl-Programmet. *Moduler och cellteknologi*. <http://www.solelprogrammet.se/projekteringsverktyg/moduler/> [2016-04-11] Energimyndigheten, SolEl-Programmet. (u.å). Installationsguide Nätanslutna Solcellsanläggningar. Installation av solceller.
- Energimyndigheten. (2015). *Solceller moduler*. <http://www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/solcellermoduler/> [2016-04-18]
- Energy informative. (2016). *Which solar panel type is the best? Mono- vs. Polycrystalline vs. thin film*. <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/> [2016-04-13]
- Henze N., Sahan B., Koirala B. (2009). *Study on MPP Mismatch losses in Photovoltaic Applications*. Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology.
- Jansson E. (2016). *Jämförande utredning solpaneler: tunnfilm vs kisel*. Projektengagemang Elmiljö Sverige AB.
- Jansson S. (2011). *Skugginverkan på PV-moduler* (rapport nr: U 01:97). Vattenfall Utveckling A, Decentraliserade energilösningar.
- Jansson U. (u.å). *Solceller*. <http://www.kemi.uu.se/forskning/fysikalisk-kemi/solceller/> [2016-04-11].
- Kalogirou S.A. (2014). *Solar Energy Engineering - Processes and Systems*. 2 uppl., UK:Oxford: Elsevier Ltd. ISBN 978-0-12-397270-5.
- McEvoy A., Markvart T. & Castañer L. (2012). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. 2 uppl., UK:Oxford: Elsevier Ltd. ISBN 978-0-12-385934-1.
- Nationalencyklopedin. (2016a). *Direkt solstrålning*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/direktsolstrålning> [2016-04-15]
- Nationalencyklopedin. (2016b). *Diffus solstrålning*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/diffus-solstrålning> [2016-04-15].
- Rydell A. (2015). *Solceller på Uppsalahems fastigheter: ekonomisk potential fram till 2030*. Examenarbete, Uppsala: Uppsala universitet.
- Sanaie G. & Schenkelberg F. (2013). *Using Reliability Modeling and Accelerated Life Testing to Estimate Solar Inverter Useful Life*. ISBN: 978-1-4673-4709-9
- Sigurd D. & Stolt L. (2016). *Solcell*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/solcell> Nationalencyklopedin. [2016-04-12].

Solcellforum. (u.å.) *Solceller: Lite fakta om solceller och solcellsystem*  
<http://www.solcellforum.se/tekniken.html> [2016-04-19].

Stridh B. (2015). Hur påverkar lutning och väderstreck produktionen av solel? ||. *Bengts nya villablogg* [blogg], 21 januari. <http://bengtsvillablogg.info/2015/01/22/hur-paverkar-lutning-och-vaderstreckproduktionen-av-solel-ii/> [2016-04-19]

SMHI. (2016). *Klimatindikator-globalstrålning*.  
<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841> [2016-04-15]

SVTC. (2015). *Solar Manufacturer ratings*. <http://www.solarscorecard.com/2015/2015-scorecard.php> [2016-04-19].

Uddevalla energi. (2013). Solenergi.

<http://www.uddevallaenergi.se/omoss/miljoochhallbarutveckling/solenergi.4.7ee1cdff13f37763b7780002363.html> [2016-04-18].

Wiksell M. (2015). Underlag för solcellsproducerad el i Stockholm: Potential och klimatpåverkan. Examenarbete, Uppsala: Uppsala universitet.

Zimmerman U. (2011). *Mätanläggning för utomhusmätningar på solcellsmoduler i Uppsala* (rapport nr. 11:80). Elforsk, Stockholm.

Zimmerman U. (2016). Solenergi-solceller [PowerPoint presentation] Uppsala: Uppsala universitet.

## Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik

Oskar Ageborg, August Forslund, Anna Maria Albért

2016-04-27

### B - 1. Inledning

Energieffektiviseringsåtgärder i byggnader är bra sätt att spara energi. Skolfastigheter AB är ett fastighetsföretag i Uppsala kommun som äger och förvaltar större delar av kommunens pedagogiska lokaler, förskolor, grundskolor och gymnasieskolor. De jobbar hårt med energieffektiviseringar och har en del solcellsprojekt på deras byggnader (Skolfastigheter AB, 2016). För en arbetsplats har det länge varit glödlampor och lysrör som dominerat belysningsbehovet. Dessa har på senare tid börjat fasas ut mot modernare belysning som ska vara mer energieffektiv samtidigt som den motsvarar samma belysningsbehov som tidigare.

Almtuna förskola är en av Skolfastigheter AB:s fastigheter där det har gjorts energieffektiviseringar. Mellan november och december 2015 genomfördes en energieffektivisering i form av byte av all belysning både invändigt och utvändigt på fastigheten till senaste LED-teknik. Uppdraget utfördes av elinstallationsbolaget J. Gullikssons El AB (Tengstedt, C. Projektledare, Gullikssons el, 2016). På toaletterna är lamporna närvarostyrda och resterande lampor har dimfunktion, vilket används flitigt då flertal barn på förskolan är ljuskänsliga. Eftersom belysningskraven har höjts förstärktes även ljuset, på skolgården infördes en extra lyktstolpe med två lampor (Östlund 2016).

Syftet är att undersöka vilka energibesparingar skedde vid bytet och hur dessa värden skiljer sig från de teoretiska besparingarna lamporna lovar.

### B - 2. Metod

Uppföljning av Almtuna förskolas belysningsbyte utfördes genom att analysera den uppmätta elförbrukningen innan och efter effektiviseringen med data hämtade från Vattenfall. De resultaten jämfördes sedan med litteraturstudier och inventering på förskolan över vad lamporna teoretiskt lovar spara. Dessutom har de ekonomiska besparingarna analyserats med hjälp av fakturor på Vattenfalls hemsida.

Den data som användes från Vattenfall erhöles från deras hemsida med personlig inloggning för Almtuna förskola. För en övergripande bild på elförbrukningen användes sammanställd data för de första 13 veckor av åren 2011-2016, där elförbrukningen efter effektiviseringen (2016) jämfördes med de fem senaste åren innan effektiviseringen (2011-2015). Anledningen till att endast de tre första månaderna användes var på grund av att de är de enda månaderna som finns efter effektiviseringen. För att få en ingripande bild på hur elförbrukning såg ut togs också data fram som beskriver den dagliga elförbrukningen som i sin tur kunde delas in i vardagar, vardagsnätter och helgdagar. En vardag är en arbetsdag från kl 06-22, nätter är arbetsdagar mellan kl 22-06 och helger är helgdagar samt röda dagar. Den uppmätta elförbrukningsbesparingen vid bytet kommer i denna rapport kallas "Uppmätta elförbrukningsbesparingen" i "Resultat".

För de teoretiska beräkningarna har två estimeringar gjorts för att få en säkrare jämförelse. Den ena metoden baseras på litteraturstudier från energimyndigheten och skolfastigheter och kommer i denna rapport kallas "Schablonvärden: litteraturstudier" i "Resultat". Den andra baseras på inventering från Gullikssons el som installerade den nya belysningen, inventering på förskolan och litteraturstudie över soltimmar över ett år. Denna metod kommer i denna rapport kallas för "Teoretisk energibesparing enligt lampeffekt: inventering" i "Resultat". En del antaganden gjordes dessutom när data blev bristfälliga eller då godtyckliga variationer uppstod.

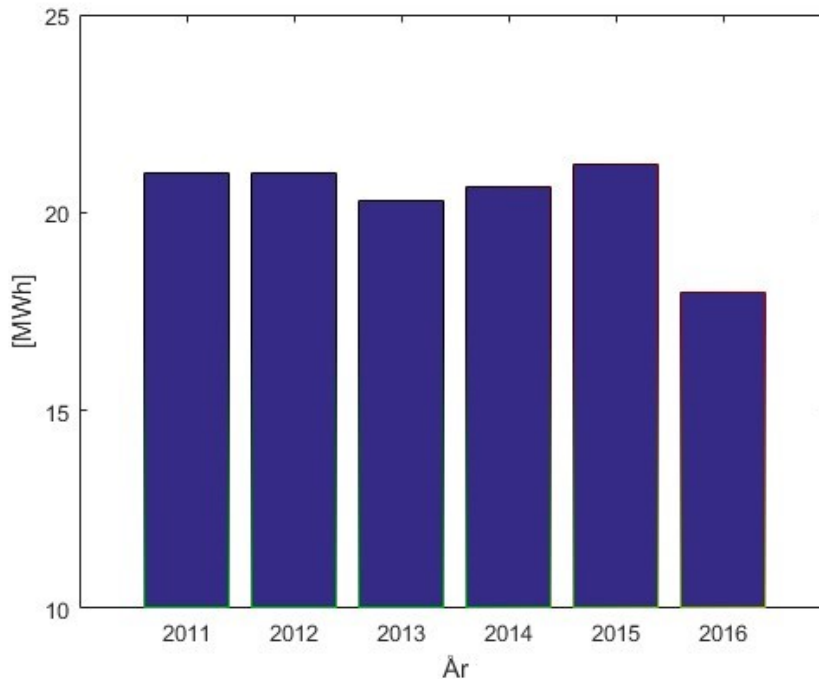
Fakturorna analyserades månadsvis för de första 13 veckor av åren 2012-2016. De program som används för analysen är Excel och Matlab.



## B - 3. Resultat

### B - 3.1 Uppmätt energibesparingen

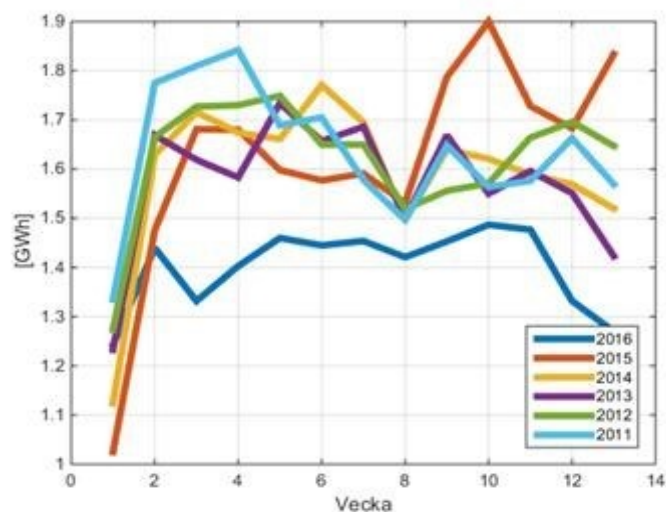
I figur B-1 ses den totala uppmätta elförbrukningen för januari till mars för 2011 till 2016. Resultatet visar att elförbrukningen för 2016, efter det att byte av belysning har skett, är mindre än för de tidigare åren.



Figur B-1. Den totala elförbrukningen från januari till mars för åren 2011-2016 för Almtuna förskola (Vattenfall 2016b).

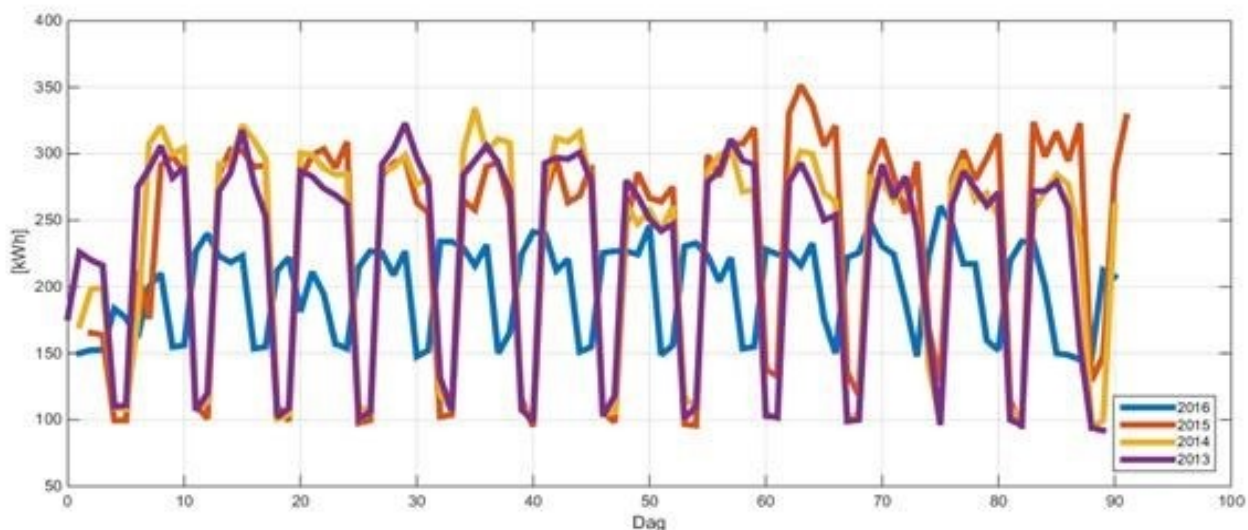
Medelförbrukning för de första 90 dagarna för åren 2011-2015 var 20821 kWh. Detta betyder en minskad elförbrukning på 14 % efter lampbytet. Medelförbrukningen för de första 90 dagarna år 2016 var 200 kWh/dag som kan ses i tabell B-5. Medelförbrukningen för de första 90 dagarna 2011-2015 var 231 kWh/dag. Detta betyder att medelförbrukningen för ett dygn har minskat med 14 % efter bytet av belysning. För en tydlig bild av elförbrukningen kan i figur B-2 ses de första 13 veckorna av 2011-2016.

## Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik

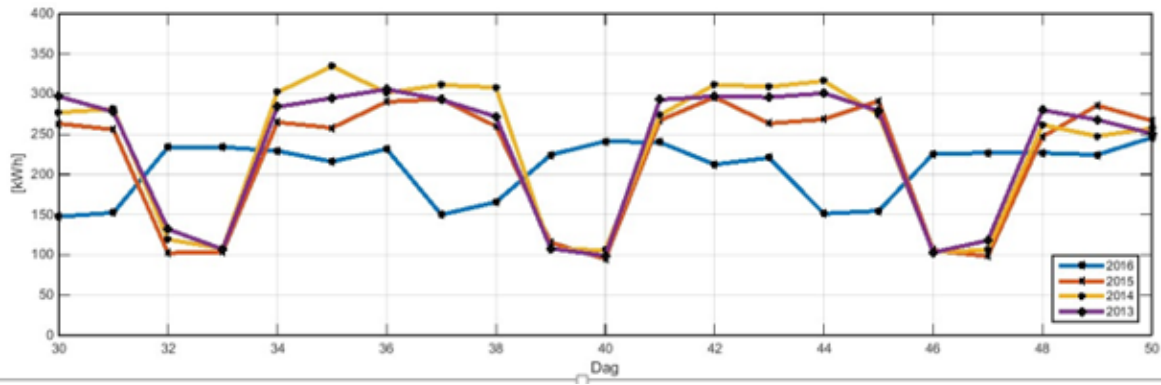


Figur B-2. Elförbrukningen från vecka 1 till vecka 13 för åren 2011-2016 för Almtuna förskola(Vattenfall, 2016b).

I figur B-3 ses den dagliga elförbrukningen per dygn för de första 90 dagarna 2013-2016. Figur B-4 är en förstord bild av figur B-3. I figur B-3 och B-4 kan det anmärkas att topparna för alla trendlinjer är vardagar och de lägsta värdena motsvarar helger.



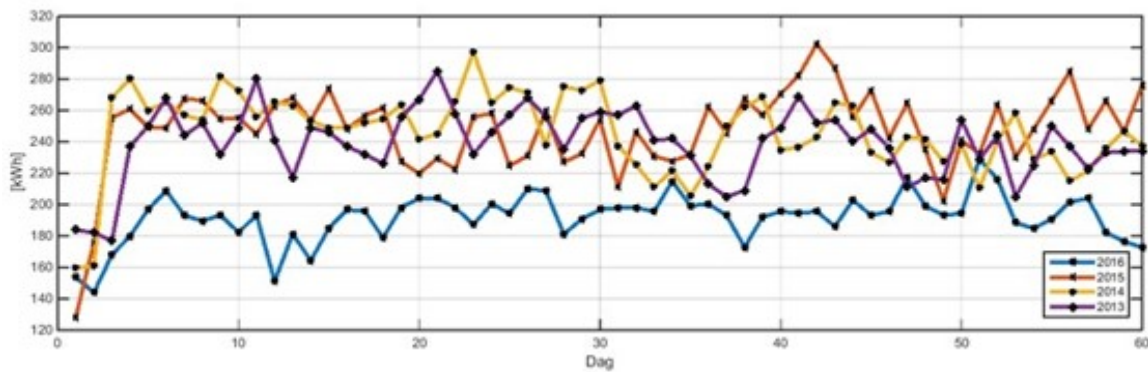
Figur B-3. Elförbrukningen för de första 90 dygnen för åren 2013-2016 för Almtuna Förskola(Vattenfall, 2016b). Där trendlinjerna är som högst speglas vardagsförbrukningen och där den är som lägst visar helgdagar.



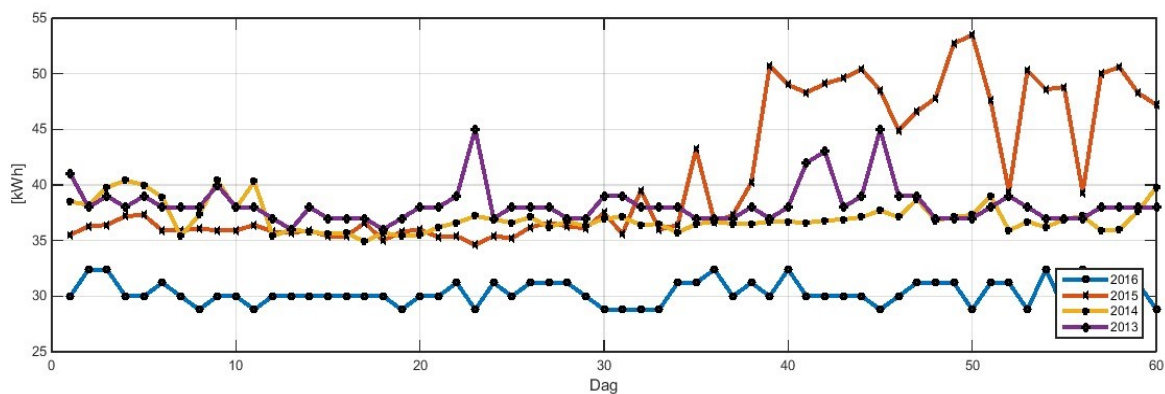
Figur B-4. In zoomning av figur B-3, som visar elförbrukningen för de första 90 dygna för åren 2013-2016 med olika markörer för varje linje (Vattenfall, 2016b).

### Vardagar, vardagsnätter och helger

I figur B-5 kan man se vardagsförbrukningen för de första 60 dagarna för 2013-2016. I figur B-6 ses nattförbrukning för vardagar för de första 60 dagarna 2013-2016. I figur B-7 ses elförbrukning för de 28 första helgerna samt röda dagar åren 2013-2016. En summering med siffror kan ses i tabell B-1.

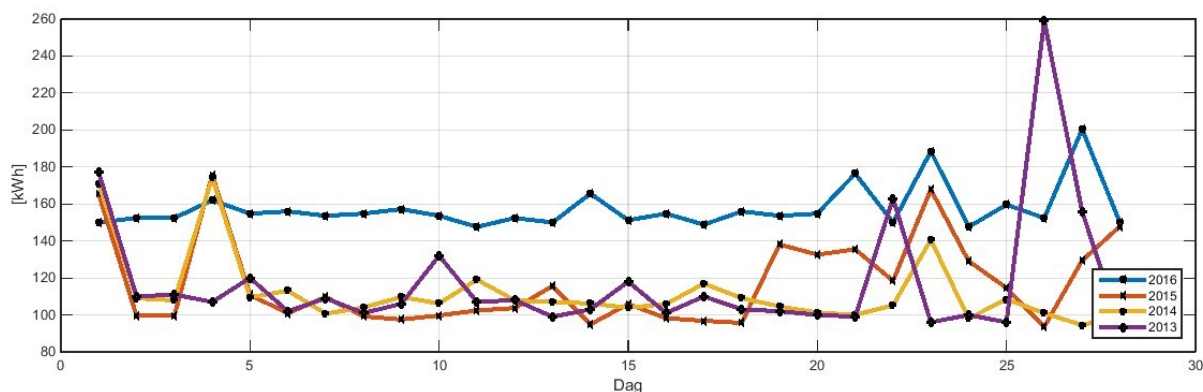


Figur B-5. Elförbrukningen för vardagar (arbetsdag 06.00-22.00) för de första 60 dagarna för varje år 2013-2016 för Almtuna Förskola (Vattenfall 2016b).



Figur B-6. Elförbrukningen för vardagsnätter (arbetsdag 22.00- 06.00) för de första 60 dagarna för varje år 2013-2016 för Almtuna förskola (Vattenfall, 2016b).

## Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik



Figur B-7. Elförbrukningen för de första 28 helgdagarna för åren 2013-2016 för Almtuna Förskola (Vattenfall, 2016b).

Tabell B-1. Summering av elförbrukningen på vardagar, vardagsnätter och helger för åren 2013-2016 för Almtuna Förskola (Vattenfall, 2016b).

	2013	2014	2015	2016
Summa vardag, kWh	14340	14774	14870	11507
Summa vardagsnatt, kWh	2295	2223	2445	1817
Summa helgdag, kWh	3289	3134	3278	4406

Medelförbrukningen för summan av de första 60 vardagarna för 2013-2015 var 14661 kWh, vilket innebär en minskad elförbrukning på 22 % till 2016. För summan vardagsnätter var medelförbrukningen 2321 kWh som betyder en minskad elförbrukning på 22 % till 2016.

För summan av de första 28 helg och röda dagar 2011-2015 var medelförbrukningen 3234 kWh som betyder en ökad elförbrukning på 36 %. Medelförbrukning/dag för vardagar, vardagsnätter och helger kan ses i tabell B-2.

Tabell B-2. Medelförbrukning för vardagar, vardagsnätter samt helger innan (2013-2015) och efter (2016) bytet av lampor till senaste LED-teknik för Almtuna Förskola (Vattenfall 2016).

År	2013-2015	2016
Medelförbrukning/vardag, kWh	244	192
Medelförbrukning/vardagsnatt, kWh	39	30
Medelförbrukning/helgdag, kWh	115	157

Medelförbrukningen vardag minskade med 22 %. Medelförbrukningen vardagsnatt minskade med 22 % och helgdag ökade med 36 %.

### B - 3.2 Teoretisk energibesparing enligt lampeffekt: inventering

Beräkningarna har delats upp i två delar; beräkningar innan och efter effektiviseringen inomhus och beräkningar innan och efter effektiviseringen utomhus på grund av att belysningen inomhus och utomhus har olika drifttider. Det har dessutom gjorts två beräkningar på elförbrukningsminskningen, där ena endast gjorts för det första kvartalet på året för att kunna jämföra med den verkliga elförbrukningsbesparingen medan den andra gjordes för hela för ett helt år eftersom belysningen är på olika mycket beroende på vilken årstid det är.

Antaganden:

- Antalet LED-lampor som installerades inomhus ersatte lika många lampor som fanns innan. Detta antagande gjordes på grund av att det inte fanns data över hur många lampor som fanns innan effektiviseringen.
- Den närvarostyrda belysningen på toaletterna uppskattades vara påslagna från öppning till stängning då barnen och personalen använder toaletterna frekvent.
- LED-panelerna har en dimmerfunktion som används. Ljuset vid fulleffekt ansågs vara för starkt enligt personalen på förskolan. Dimmerstyrkan ställs in själva av personalen och används flitigt (Inventering på förskolan, 2016). På grund av brist på tillgänglig data har det antagits att energibesparingarna med dimmerfunktion är 30 % av elförbrukningen.
- Elförbrukningen på natten antas komma från kyl, frys och belysningen (ventilationen är avstängd på natten och värmen kommer från fjärrvärme och kommer inte påverka elförbrukningen).

Elförbrukningen har beräknats enligt

$$\text{Elförbrukning} = \text{Installerade effekt} \times \text{Drifttid} \quad \text{Ekvation B-1}$$

### Belysningen inomhus

Belysningen inomhus efter effektiviseringen erhöles av Gullikssons el som installerade belysningen och visas i tabell B-3 (Tengstedt, 2016).

Tabell B-3. *Belysningen inomhus efter effektiviseringen med deras effektvärden, antal lampor och totala installerade effekt, hämtade från Gullikssons el som installerade den nya belysningen (Tengstedt, 2016).*

Modell	Effekt, kW	Antal	Installerade effekt, kW
Arm OSCAR LED	0,020	20	0,4
Arm POLO LED	0,015	4	0,06
LED-panel 600X600 Dali	0,032	125	3,94
INT ARM ESO IP20	1 x 0,028+2 x 0,028	4	0,34
Total installerad effekt	-	-	4,73

Belysningen innan effektiviseringen inomhus visas i tabell B-4 (Östlund, 2016).

Tabell B-4. *Belysningen innan effektiviseringen med dess effektvärde antal lampor och totala installerade effekt (Östlund, 2016).*

Modell	Effekt, kW	Antal	Installerad effekt, kW
Lysrör	3×0,024	153	11

Drifttiden är 10 timmar per dag över alla vardagar (Iors förskola, 2016) i det första kvartalet (60 dagar), alltså  $10 \times 60 = 600$  timmar.

Elförbrukningen för hela året beräknades också. Drifttiden är 10 timmar per dag över alla arbetsdagar över året. Det är dessutom stängt juli månad. Sammantaget motsvarar detta 232 dagar, alltså 2320 timmar.

## Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik

Elförbrukningen från inomhusbelysningen innan och efter effektiviseringen för det första kvartalet som fås av ekvation B-1 till

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, januari-mars}} = 6609,6 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, januari-mars}} = 2840 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, under ett år}} = 25557 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, under ett år}} = 10982 \text{ kWh}$$

Se appendix B-7.1 för beräkning.

### Belysning utomhus

I tabell B-5 visas belysningen utomhus efter effektiviseringen (Tengstedt, 2016).

Tabell B-5. Utomhusbelysningen efter effektiviseringen med deras effektvärden och totala installerade effekt hämtade från Gullikssons el som installerade lamporna (Tengstedt, 2016).

Modell	Effekt, kW	Antal	Installerad effekt, kW
Strålkastare XLED Home 3 Sensor	0.018	2	0.036
Armatyr PRIMO Vit LED 110	0,0135	17	0,23
Smart Motion IV LED	0,035	2	0,07
Arm PLURIO R LED	0,030	5	0,15
Strålkastare GUELL 1 SYM	0,060	2	0,12
Total installerad effekt	-	-	0,61

Det fanns ingen data över vilken belysning som var uppsatt innan bytet. En grov uppskattning att den installerade effekten på utomhus belysningen är 1,13 kW gjordes enligt antagandet som står i början av B-3.2 som säger att det enda som står på under natten kyl, frys och belysning. Den momentana elförbrukningen under natten ligger i genomsnitt runt 4,5 kW (Vattenfall, 2016b). Elförbrukningen från kyl och frys ses i tabell B-6 och bestämdes vid inventering på förskolan. Differensen av elförbrukningen och elförbrukningen från kyl och frys ger elförbrukningen av utomhusbelysningen. Alltså är den installerade effekten från utomhusbelysningen  $4,5 - 3,370 = 1,13 \text{ kW}$

Tabell B-6. Installerade effekten för kylskåpen och frysarna samt totala installerade effekten.

Utrustning	Effekt, W	Antal	Total effekt, W	Drifttid
Kyl	140	4	560	konstant
Frys	1280	2	2560	konstant
	125	2	250	konstant
Totalt	-	-	3370	-

Lamporna utomhus styrs av ljusrelä (Östlund, 2016). Antalet mörktimmar för det första kvartalet på året och för ett helt år är 1313 respektive 4268 timmar (Dinstartsida, 2016). Plurio-lamporna använder sig även för en effektreducering mellan tiderna 21:00-05:00, vilket behövs tas hänsyn till. Vid dessa tidpunkter går armaturen ner till halveffekt (Östlund, 2016). Enligt tabell B-3 är Plurio-lampans halveffekt 15 W som behöver dras bort för tiderna 21:00-05:00 för alla dagar.

Elförbrukningen för det första kvartalet och för hela året blir då enligt ekvation B-1

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter,januari-mars}} = 673 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan,januari-mars}} = 1484 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter,ett år}} = 2517 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan,ett år}} = 4823 \text{ kWh}$$

Se appendix B-7.2 för beräkning.

### Totala teoretiska elförbrukningen

Tabell B-7 och B-8 visar den totala teoretiska elförbrukningen för det första kvartalet på året respektive för ett helt år innan och efter effektiviseringen och differensen/minskning mellan dem, för beräkning av summeringen av elförbrukningen se B-7.3 appendix.

Tabell B-7. Teoretiska elförbrukningen för det första kvartalet på året innan och efter effektiviseringen och differensen/minskning mellan dem.

	Innan bytet	Efter bytet	Differens/Minskning
Teoretisk elförbrukning för det första kvartalet på året, kWh	8084	3513	4581

Tabell B-8. Teoretisk elförbrukningen per år innan och efter effektiviseringen och differensen/minskning mellan dem.

	Innan bytet	Efter bytet	Differens/Minskning
Teoretisk elförbrukning för det första kvartalet på året, kWh	30380	13499	16881

Elförbrukningen från belysningen för det första kvartalet på året och för ett helt år bör teoretiskt med de givna antagandena minska med 57 % respektive 56 %.

Den totala genomsnittliga elförbrukningen innan effektiviseringen för det första kvartalet på året och för ett helt år är 20821 kWh respektive 78 000 kWh, vilket ger den procentuella minskningen  $4581 / 20821 = 22 \%$  respektive  $16881 / 78\ 000 = 22 \%$ .

### B-3.3 Schablonvärden: litteraturstudier

I offentliga och kommersiella lokaler står belysningen för cirka 30 % av energianvändningen (Energimyndigheten u.å.). En LED-lampa med styrfunktion drar cirka 25 % av vad omodern armatur gör

(Skolfastigheter i Stockholm AB 2015). Då den totala elförbrukningen, enligt resultat tabell B-5 för de första 90 dagarna 2015 var 21208 kWh blir 30 %

$$0,3 \times 21208 = 6362 \text{ kWh}$$

Belysningen står alltså för 6 362,28 kWh av elförbrukningen. Den totala förbrukningen utan belysningen blir då

$$21208 - 6362 = 14845 \text{ kWh}$$

Vid bytet till LED minskar lampornas elförbrukning med 75 %. Då blir den nya förbrukningen

$$0,25 \times 6362 = 1591 \text{ kWh}$$

## Bilaga B - Uppföljning av bytet av belysning till LED-teknik

Detta ger en ny totalförbrukning på

$$14845 + 1591 = 16436 \text{ kWh}$$

Den nya totala förbrukningen är 16436 kWh efter bytet till LED-belysning. Då en ny utomhuslampa tillkommit med två stycken lampor på cirka 60W vardera adderas detta till den nya förbrukningen. På en dag i januari-mars uppskattas den nya utelampan vara tänd cirka 10 timmar. Detta ger

$$60\text{W} \times 2 \text{ st} \times 10 \text{ h} \times 90 \text{ dagar} = 1591 \text{ kWh}$$

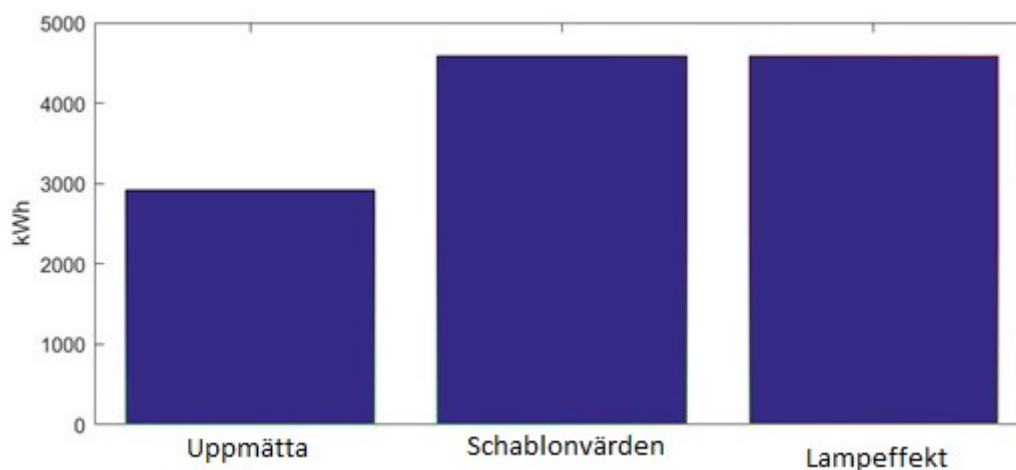
Detta ger en estimerad ny förbrukning för januari-mars 2016 till

$$16436 + 108 = 16544 \text{ kWh}$$

Den totala elförbrukningen borde därmed bli cirka 22 % lägre efter belysningsbytet. Skolfastigheter i Stocholm har gjort många byten av belysning till LED-lampor där den rapporterade besparingen var på 20-30 % (Skolfastigheter i Stockholm AB, 2016). Även Belysningsbranschen bekräftar dessa värden i deras rapport från 2013 där de ger exempel på fall där LED-lampor har sänkt elförbrukningen (Belysningsbranschen, 2013).

### B - 3.4 Jämförelse av den uppmätta elförbrukningsbesparingen för lampbytet med de två teoretiskt beräknade metoderna

I figur B-8 ses elförbrukningsbesparingen i kWh för den uppmätta och de två teoretiska metoderna.



Figur B-8: Elförbrukningsbesparingen i kWh för den uppmätta besparingen med data hämtade från Vattenfall och de två teoretiska besparingarna baserade schablonvärden respektive lampeffekt.

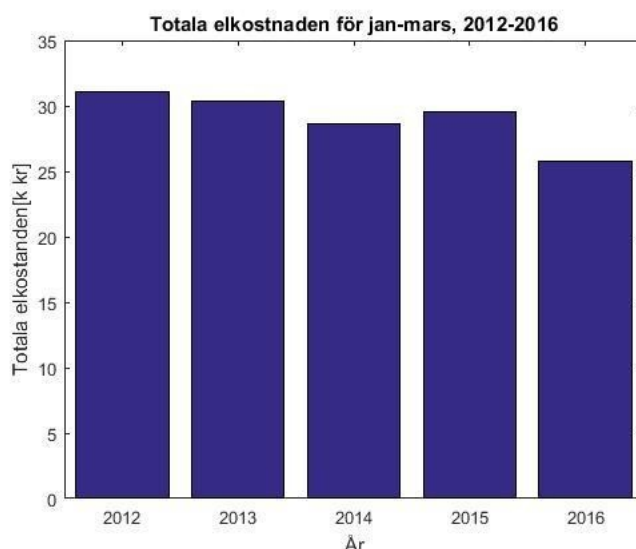
### B - 3.5 Ekonomi

I figur B-9 ses totala elkostnaden för januari-mars över åren 2012-2016 (Vattenfall, 2016a). Det genomsnittliga värdet för elkostnaden för det första kvartalet är 29900 kr. Elkostnaden efter effektiviseringen är 25700 kr. Elkostnaden minskade alltså med 4200 kr eller uttryckt procent; 14 %. Minskningen av elkostnaden per månad över månaderna januari-mars fås då till; 1400 kr.

Tabell B-9. Genomsnittliga elkostnaden per kWh för januari-mars åren 2012-2016.

År	2012	2013	2014	2015	2016	Medel-värde
Elkostnad, kr/kWh	1,48	1.50	1.39	1.40	1.42	1,44





Figur B-9. Elkostnaderna per månad för januari-mars över åren 2012-2016.

Genomsnittliga elkostnaden per kWh för månaderna januari-mars över åren 2012-2016 ses i tabell B-9. Det genomsnittliga medelvärdet av elkostnaden är 1,44 kr/kWh över de undersökta åren.

## B – 4. Diskussion

De totala resultaten för elförbrukningen januari-mars visar att förskolans elförbrukning minskat efter bytet av belysning. Elförbrukningen har varit väldigt lika utan större avvikelser åren 2013-2015. Den enda kända förändringen för förskolan är bytet av belysning, därför kan den minskade elförbrukningen med hög säkerhet vara orsakad av belysningsbytet.

Den totala energibesparingen är 14 %. En anledning till att det inte var större besparing kan bero på att helgdagarna har ökat med cirka 50 kWh/helgdag för 2016 jämfört med 2013-2015. Det kan även bero på att förskolan har skaffat en ny stolpe med två nya lampor för utebelysningen samt ökat komfortbelysningen inomhus. Den nya stolpen och extra komfortbelysning är inte i storleksklassen 50 kWh/dag för en helgdag. Vid analys av elförbrukningen för helgdagen kan man se att elförbrukningen följer den trend som en vardag gör, att det förbrukas mest energi kl. 8.00 - 17.00. Detta kan förklaras med att förskolan har en ny helgaktivitet eller att ventilationen har felinställts. Om man bortser från att den totala förbrukningen på de första helgdagarna för första kvartalet har ökat från 3234 kWh till 4406 kWh så kan en estimering göras att den totala förbrukningen ligger cirka 1372 kWh för mycket på det första kvartalet 2016. Med avseende på detta kan en potential minskad elförbrukning redovisas på 20 %. Denna förändring stämmer väl överens med de teoretiska minskningen för de båda metoderna på 22 %.

Säkerheten på de årliga kostnadsbesparingarna är begränsad då vi exempelvis endast har data för de fyra månaderna efter effektiviseringen och kan inte jämföra med fler år efter effektiviseringen. Mer data längre tillbaka innan effektiviseringen hade också ökat säkerheten i resultaten. Det går dock att se en tydlig minskning av elkostnaden innan och efter effektiviseringen på som är ett resultat av energieffektiviseringen.

Det finns vissa faktorer som kan bidra till felkälla eller osäkerhet i de teoretiska beräkningarna. Exempelvis var det svårt att veta hur mycket lamporna dimmades och hur mycket energibesparingar som gjordes av detta. Det hittades ingen data om antal lampor som fanns installerade innan effektiviseringen och inte heller exakt vilka lampor som fanns installerade. Det fanns inga data om utebelysningen innan effektiviseringen och fick estimeras genom att kolla på totala elförbrukningen under natten då endast kyl, frys och belysning antas vara på. De dimbara lamporna har antagits bespara 30 % och om de skulle sänkas så en del energi sparas skulle skillnaden mellan den teoretiska minskningen och verkliga minskningen öka.

### B - 5. Slutsats

Baserade på mätdata för det första kvartalet på året för åren 2011-2016 drogs slutsatsen att den totala elförbrukningen samt medelförbrukningen per dygn efter installationen av LED-lampor minskade med 14 %. Vid borträkning av den irreguljärt höga helgförbrukningen blir minskningen 20 %.

Enligt de två teoretiskt beräknade metoderna ("Teoretisk elförbruksbesparing enligt lampeffekt: litteraturstudier" och "Schablonvärden: inventering") skulle installationen av LED-lampor minska elförbrukningen med 22 % för det första kvartalet för 2016 för båda metoderna. Om helgförbrukningen ej skulle varit irreguljärt hög för 2016 skulle dessa resultat stämt bra överens med de verkliga resultaten.

Installationen av LED-lampor minskade elförbrukningen med 22 % på vardagar och 22 % på vardagsnätter medan förbrukningen har ökat med 36 % på helgerna baserat på mätdata för det första kvartalet på åren.

Minskningen av elkostnaden per månad över månaderna januari-mars är cirka 1400 kr, vilket motsvarar en minskning med 14 %.

### B - 6. Referenser

Belysningsbranschen. (2013). *En ljusare framtid*. [http://ljuskultur.se/files/2013/09/En-ljusare-framtid\\_2013\\_final\\_low.pdf](http://ljuskultur.se/files/2013/09/En-ljusare-framtid_2013_final_low.pdf)

Energimyndigheten. (u.å.). *Vägledning för energieffektiv och god belysning* [http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/kommuner/ekero/vagledning\\_for\\_energieffektiv\\_och\\_god\\_belysning.pdf](http://www.energiradgivningen.se/sites/default/files/kommuner/ekero/vagledning_for_energieffektiv_och_god_belysning.pdf) [2016-04-28].

Dinstartsidea. (2016). Solens upp- och nedgång >> Uppsala >> 2016 <http://www.dinstartsidea.se/solen-ort.asp?id=158> [2016-05-04].

Iors förskola. (2016). *En dag på Ior* <http://iorsforskola.se/en-dag-pa-ior/> [2016-05-04].

Johansson, H. (2015). *Värmebidrag*

<http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/hemmet/belysning/varmebidrag/> [2016-04-28].

Skolfastigheter AB. (2016). *Om Skolfastigheter*. <http://skolfastigheter.uppsala.se/Om-Skolfastigheter/> [2016-04-27].

Skolfastigheter i Stockholm AB. (2015). *Ljus och belysning i lokaler och ute*. [http://sisab.se/siteassets/varafastigheter/projekt/referenser/ljus\\_belysning\\_lokaler-rev-1509.pdf](http://sisab.se/siteassets/varafastigheter/projekt/referenser/ljus_belysning_lokaler-rev-1509.pdf) [2016-04-28].

Tengstedt, C. Projektledare, Gullikssons el(2016) *personlig intervju* [2016-04-26].

Vattenfall. (2016a). *Fakturahistorik*

<https://www2.vattenfall.se/Ccenter/Foretag/SiteInvoiceOverview.aspx?Index=UPP735999100057101388> [2016-05-04].

Vattenfall. (2016b). *Timvärden*.

<https://www2.vattenfall.se/Ccenter/Foretag/Eldistribution/SiteAllMeasuredComp.aspx> [2016-05-04].

Östlund, M. Teknisk förvaltare. 2016-04-12, personlig intervju.

## B - 7. Appendix

### B-7.1 Beräkning av bytet inomhus

Elförbrukningen från inomhusbelysningen innan och efter effektiviseringen för det första kvartalet och för hela året fås av ekvation B-1 till

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, januari-mars}} = 600 \times 4,7335 = 2840 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, januari-mars}} = 600 \times 11,016 = 6609,6 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, ett år}} = 2320 \times 4,7335 = 10982 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, ett år}} = 2320 \times 11,016 = 25557 \text{ kWh}$$

### B-7.2 Beräkning av bytet utomhus

Elförbrukningen för det första kvartalet och för hela året blir enligt ekvation B-1

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, januari-mars}} = 1313 \times 0,6 - 728 \times 0,015 = 673 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, januari-mars}} = 1313 \times 1,13 = 1484 \text{ kWh}$$

Elförbrukningen för hela året blir då

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, ett år}} = 4268 \times 0,6 - 2928 \times 0,015 = 2517 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, ett år}} = 4268 \times 1,13 = 4823 \text{ kWh}$$

### B-7.3 Totala elförbrukningen

Den totala elförbrukningen innan och efter effektiviseringen för det första kvartalet och för hela året fås då enligt ekvation B-1 till

$$\text{Elförbrukning}_{\text{januari-mars, total}} = 673 + 2840 = 3513 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, januari-mars, total}} = 1484 + 6610 = 8094 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{efter, ett år, total}} = 2517 + 10982 = 13499 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{innan, ett år, total}} = 4823 + 25557 = 30380 \text{ kWh}$$

Den teoretiska elförbrukningsminskningen fås av differensen mellan innan och efter effektiviseringen för det första kvartalet respektive hela året och alltså

$$\text{Elförbrukning}_{\text{minskning, januari-mars}} = \text{Elförbrukning}_{\text{innan, januari-mars, total}} - \text{Elförbrukning}_{\text{efter, jan.-mars, total}}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{minskning, januari-mars}} = 8094 - 3513 = 4581 \text{ kWh}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{minskning, ett år}} = \text{Elförbrukning}_{\text{innan, ett år, total}} - \text{Elförbrukning}_{\text{efter, ett år, total}}$$

$$\text{Elförbrukning}_{\text{minskning, ett år}} = 30380 - 13499 = 16881 \text{ kWh}$$

## Bilaga C - Simuleringsmodellering

Samuel Jansson, Gustav Wendin

2016-05-25

### C - 1. Inledning

Vid Almtuna förskola har bland annat all ute- och inbelysning bytts från äldre varianter, till exempel kvicksilverlampor för utebelysning, till senaste LED-teknik, samt kombinerats med viss belysningsstyrning. Skolfastigheter som äger Almtuna förskola är också intresserade av att ytterligare energieffektivisera Almtuna förskola på lämpligaste vis.

Datasimulering kan användas för att undersöka utfall av olika energieffektiviseringsåtgärder genom att enkelt ändra en eller flera parametrar. För att utföra datasimuleringar behövs därför en modell som beskriver Almtuna förskolas energisystem. En rad olika programvaror finns tillgängliga för att modellera energisystem för byggnader. Simulink som är ett tillval till Matlab för simulering valdes i detta arbete för att utveckla en egen modell över en byggnads energisystem med hänsyn till dess värmebalans och elanvändning. I Simulink ritar användaren ett blockschema över ett dynamiskt system med hjälp av ett bibliotek som innehåller byggblock för en mängd olika matematiska operationer.

Denna delrapport syftar till att skapa en modell i Simulink för Almtuna förskolas energisystem med hänsyn till dess värmebalans och elanvändning. Modellen ska ligga till grund för simuleringar med mål att undersöka utfallet av den redan utförda energieffektiviseringen då gammal belysning byttes mot senaste LED-teknik. Modellen ska även ligga till grund för simulering och utvärdering av vidare energieffektivisering av Almtuna förskola.

#### C - 1.1 Modellering av ett energisystem

I allmänhet representeras olika energisystem i form av matematiska modeller som beskriver systemets uppförande. I Kumar & Harish, 2016, framhålls att matematiska modeller är den mest tillämpade kategorin av modeller inom olika typer av vetenskap och ingenjörskonst då de är relativt lätta att utveckla och manipulera. Att utveckla en matematisk modell omfattar kartläggning av fysikaliska samband som beskriver dynamiken hos systemet i fråga. De fysikaliska sambanden måste därefter översättas till matematiska uttryck bestående av konstanter och variabler.

Modellstrukturen för ett generellt energisystem består vanligtvis av tre systemblock; indatavariabler, utdatavariabler samt systemet själv. Indatavariabler verkar på systemet och klassas som kontrollerbara eller okontrollerbara beroende på om de kan regleras av modelleraren eller inte. Utdatavariabler beskriver vidare hur systemet reagerar på olika indata (Kumar & Harish, 2016).

Det existerar två breda och skarpt avgränsade tillvägagångssätt för att matematiskt modellera ett energisystem; framåt- och datadriven modellering (Kumar & Harish, 2016). I detta arbete tillämpades framåt driven modellering vilket innebär att prognoser för energiförbrukning och olika energiförluster hos en byggnad baseras på dess fysiska egenskaper. Framåt driven modellering förutsätter därmed en detaljerad arbetsstruktur som vanligtvis delas in i sex steg enligt:

- Steg 1: Skaffa klimatdata för platsen i fråga
- Steg 2: Skaffa designdata för byggnaden (ritningar, geografisk placering etc.)
- Steg 3: Skaffa information om typ av värmesystem
- Steg 4: Schemalägg hur byggnaden används
- Steg 5: Simulera byggnaden för de perioder som är av intresse
- Steg 6: Förutsäg mönster för energianvändning

Viktiga indata till modellen blir således termofysiska egenskaper hos byggnadskomponenterna, interna värmekällor, ventilationsflöden, önskad inomhustemperatur samt platsspecifik utomhustemperatur och solinstrålning (Kumar & Harish, 2016).

## C - 1.2 Värmebalans för en byggnad

Värmebalansen för en byggnad innebär att mängden värme som tillförs byggnaden måste motsvara dess värmeförluster för att bevara en önskad inomhustemperatur. En byggnads värmeförluster omfattar förluster via tappvarmvatten, transmission, ventilation samt luftläckage. Värme tillförs istället bygganden via gratisvärme, vilket är värme som tillförs byggnaden utan att vara ämnad för detta, som exempelvis solinstrålning och värme från människor och elektriska apparater. Tillskottet av gratisvärme är vanligtvis lägre än byggandens värmeförluster vilket innebär att värme även måste tillföras via ett värmesystem för att bibehålla en önskad inomhustemperatur.

## C - 2. Material och metod

För att modellera Almtuna förskolas energisystem kartlagdes först de fysikaliska sambanden som beskriver byggnadens värmebalans och elanvändning vilket krävde information om byggnaden. Värmeförlusterna i värmebalansen bortsåg dock förluster genom tappvarmvatten och luftläckage då dessa var svåra att mäta eller uppskatta. Designdata för bygganden erhöles från bland annat energideklarationen, OVK-protokollet samt planritningen för Almtuna förskola. En platsintervju och en inventering som utfördes också vid Almtuna förskola för att schemalägga hur och när byggnaden används samt lista vilka elektriska apparater som finns. Klimatdata i form av temperatur och solinstrålning för Uppsala hämtades från temperatur.nu, u.å. och STRÅNG-modell (SMHI. 2016) för åren 2013-2016. Till valideringen av modellen användes förbrukningsdatan för elektricitet och fjärrvärme vilket erhöles från *Mina sidor* hos Vattenfall AB.

### C - 2.1 Transmissionsförluster

Om en byggnadskomponent består av flera lager av olika material med varierande tjocklek, vilket ofta gäller för fönster, dörrar, väggar, tak och golv, kommer värmeledning att ske genom materialet om det finns en temperatursgradient över det. Värmetransporten sker då från den varma sidan av materialet till den kalla i enlighet med termodynamikens andra huvudsats. Det innebär att värmeförluster sker från byggnaden till omgivningen om utomhustemperaturen är lägre än inomhustemperaturen. I Alvarez, 2006 framhålls att värmen som överförs via transmission kan beräknas enligt:

$$Q_{\text{transmission}} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad \text{Ekvation C-1}$$

där U-värdet är byggnadskomponentens värmegenomgångskoefficient, A byggnadskomponentens area och  $\Delta t$  temperatursgradienten mellan byggnadskomponentens två sidor. Från Alvarez 2006 framgår det vidare att U-värdet kan beräknas enligt:

$$U = \frac{1}{R_{\text{in}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{\text{ut}}} \quad \text{Ekvation C-2}$$

där  $R_{\text{in}}$  och  $R_{\text{ut}}$  betecknar det termiska motståndet på insidan respektive utsidan av byggnadskomponenten och  $R_{1,2,\dots,i}$  det termiska motståndet för de olika materialen.

### C - 2.2 Ventilationsförluster

För att erhålla ett bra inomhusklimat måste en del av inomhusluften hos en byggnad kontinuerligt ersättas med ny luft utifrån. Utomhusluften har vanligtvis lägre temperatur än inomhusluften och måste därför värmas upp till den önskade inomhustemperaturen. Värmeförlusterna som sker vid uppvärmning av utomhusluften ges av:

## Bilaga C- Simuleringsmodellering

$$Q_{\text{ventilation}} = \rho_{\text{luft}} \frac{dV}{dt} c_{\text{luft}} (T_{\text{in}} - T_{\text{ut}}) \quad \text{Ekvation C-3}$$

där  $\rho_{\text{luft}}$ ,  $c_{\text{luft}}$  och  $dV/dt$  är densiteten, specifika värmekapaciteten samt volymflödet för luft.  $T_{\text{in}}$  och  $T_{\text{ut}}$  betecknar vidare inne- respektive utetemperatur. Om värmeåterförsel används i ventilationssystemet blir energiförlusten istället:

$$Q_{\text{ventilation}} = (1 - \frac{\eta}{100}) \rho_{\text{luft}} \frac{dV}{dt} c_{\text{luft}} (T_{\text{in}} - T_{\text{ut}}) \quad \text{Ekvation C-4}$$

där  $\eta$  betecknar verkningsgraden för värmeåterförselen uttryckt i procent.

### C - 2.3 Gratisvärme

I detta arbete betraktas värme från belysning, människor samt solinstrålning som gratisvärme. Det interna värmetillskottet från elektriska apparater utelämnas då det är svårt att uppskatta hur stor andel av den elektriska energin hos dessa apparater som omvandlas till värme utan avancerad mätutrustning. Värme från inomhusbelysningen kommer dock att beaktas, dels för att det finns typvärden för lampor, dels för att över 75 % av effekten omvandlas till värme i LED-lampor (Yung m.fl., 2013).

#### Belysning

Den elektriska energin som förbrukas av ett belysningssystem beror på den installerade effekten och drifttiden. Den totala energikonsumtionen  $E_{\text{belysning}}$  för ett belysningssystem kan således beräknas enligt:

$$E_{\text{belysning}} = P_{\text{installerad belysning}} T_{\text{drift}} \quad \text{Ekvation C-5}$$

där  $P_{\text{installerad belysning}}$  är den installerade effekten och  $T_{\text{drift}}$  drifttiden. Den installerade effekten kan vidare uttryckas som:

$$P_{\text{installerad belysning}} = n P_{\text{ljuskälla}} \quad \text{Ekvation C-6}$$

där  $n$  är antalet av varje ljuskälla och  $P_{\text{ljuskälla}}$  betecknar ljuskällans märkeffekt som framgår av tillverkningsdata. Drifttiden beror på hur lokalerna används, tillgängligt dagsljus i lokalen samt val av styrsystem. Om belysningsinstallationen kan dimmas måste hänsyn även tas till att den momentana effektförbrukningen varierar (Kumar & Harish, 2015).

Gratisvärmerna från belysningen beräknas genom att använda en omvandlingsfaktor  $\eta$  som anger hur stor andel den elektriska energin som omvandlas till värme hos ljuskällorna. Gratisvärmerna  $Q_{\text{belysning}}$  ges således av:

$$Q_{\text{belysning}} = \eta E_{\text{belysning}} \quad \text{Ekvation C-7}$$

#### Människor

En byggnad tillförs värme från människor som vistas i den vilket sker genom både konvektion och strålning.

Värmeutbytet till omgivningen är omkring 80 W för en vuxen och 60 W för ett barn (Firlag & Zawada 2013). Det totala termiska energitillskottet till byggnaden,  $Q_{\text{människa}}$ , kan således beräknas enligt:

$$Q_{\text{människa}} = n_1 P_1 + n_2 P_2 \quad \text{Ekvation C-8}$$

där  $n_1$  och  $n_2$  är antalet vuxna respektive barn och  $P_1$  och  $P_2$  är värmetillskottet från en vuxen respektive ett barn.

### Solinstrålning

Gratisvärme i form av solinstrålning genom en byggnads fönster resulterar i ett oönskat kylbehov under sommarhalvåret medan solinstrålningen minskar energibehovet under vinterhalvåret. Hur stor solinstrålningen är beror på en rad olika faktorer, bland annat den totala fönsterarean hos byggnaden, i vilket väderstreck de är placerade samt vilken typ av fönster som används. Värmen som tillförs via fönster kan förenklat uttryckas som:

$$Q_{\text{solinstrålning}} = G S_{\text{solinstrålning}} A_{\text{fönster}} \quad \text{Ekvation C-9}$$

där  $G$  är fönstrets solfaktor,  $S_{\text{instrålning}}$  intensiteten av solinstrålning och  $A_{\text{fönster}}$  den totala fönsterarean (Bäckström, 2014).

Den totala gratisenergin kan således uttryckas som summan av ekvation C-7, C-8 och C-9 enligt:

$$Q_{\text{gratis}} = Q_{\text{belysning}} + Q_{\text{människor}} + Q_{\text{solinstrålning}} \quad \text{Ekvation C-10}$$

### C - 2.4 Värmesystem

Värmen som måste tillföras via värmesystemet för att bibehålla en önskad inomhustemperatur kallas byggnadens värmelast. En byggnads värmelast är skillnaden mellan dess värmeförluster och interna värmetillskott i form av gratisvärme.  $Q_{\text{värmelast}}$  kan således uttryckas som:

$$Q_{\text{värmelast}} = Q_{\text{förlust}} - Q_{\text{gratisvärme}} \quad \text{Ekvation C-11}$$

där  $Q_{\text{förlust}}$  och  $Q_{\text{gratisvärme}}$  är byggnadens totala värmeförluster och gratisvärme. Då värmeförlusterna består av transmission- och ventilationsförluster som ges av ekvation C-1 respektive C-3 och C-4 kan således värmelasten uttryckas som:

$$Q_{\text{värmelast}} = Q_{\text{transmission}} + Q_{\text{ventilation}} - Q_{\text{belysning}} - Q_{\text{människor}} - Q_{\text{solinstrålning}} \quad \text{Ekvation C-12}$$

### C - 2.5 Elanvändning

Den elektriska energin som förbrukas av en elektrisk apparat beror på dess effekt och drifttid. Den totala konsumtionen av elektrisk energi  $E_{\text{apparat}}$  hos en elektrisk apparat kan således uttryckas som:

$$E_{\text{apparat}} = P \times T \quad \text{Ekvation C-13}$$

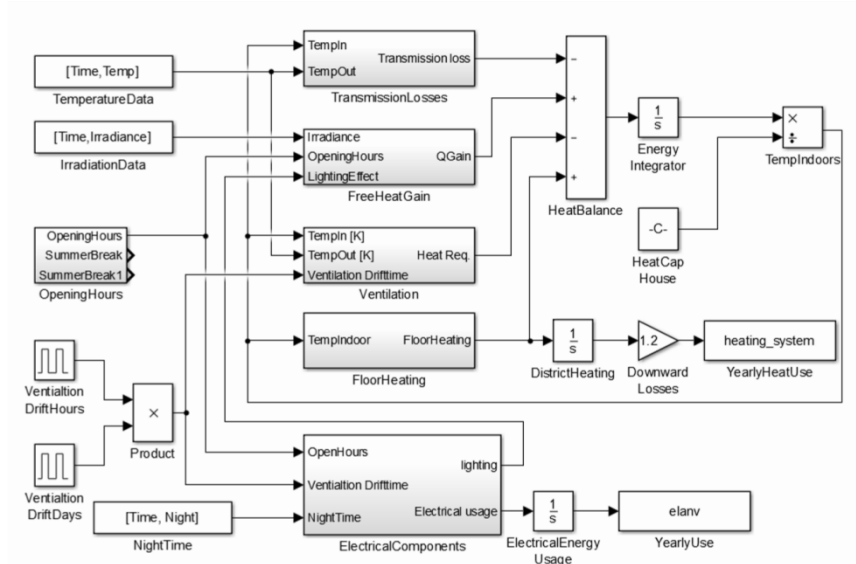
där  $P$  är effekten som förbrukas och  $T_{\text{drift}}$  drifttiden. Den totala elektriska energin som förbrukas av en byggnad kan vidare uttryckas som summan av elförbrukningen hos alla elektriska apparater enligt:

$$E_{\text{byggnad}} = \sum_i^n P_i T_i, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Ekvation C-14}$$

där  $P_i$  och  $T_i$  är den förbrukade effekten respektive drifttiden för varje enskild elektrisk apparat.

### C - 3. Resultat

I Simulink modellerades Almtuna förskolas värmebalans och elanvändning enligt figur C-1. Simulinkmodellen består av sex delsystem, fyra som beskriver byggnadens värmeförluster och värmetillskott, ett som beskriver dess öppettider och slutligen ett som beskriver dess elförbrukning. Indata till modellen består av temperatur, direkt solinstrålning och mörkertimmar för Uppsala som, utdata blir då byggnadens totala värmeförluster, värmetillskott samt elanvändning.

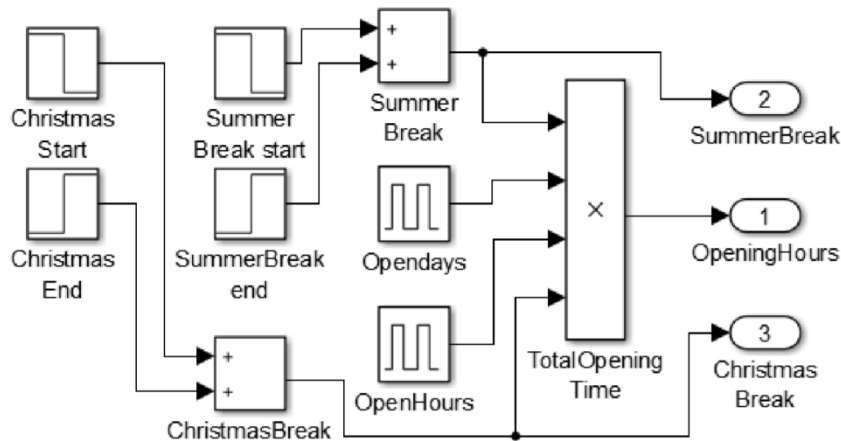


Figur C-1. Översiktlig bild av Simulinkmodellen. Modellen består av sex delsystem som beskriver byggnadens öppettider, transmissionsförluster, gratisvärme, ventilationsförluster, golvvärme samt elektriska apparater. För mer information, se respektive delsystem.

#### C - 3.1 Delsystem: Öppettider

Från platsintervjun som utfördes vid Almtuna förskola framgick att förskolans öppettider är från klockan 07.30-17.30 under vardagar. Under kvällar och helger står lokalerna tomma vilket också inträffar fyra veckor under juli månad då förskolan är sommarstängd samt under två veckor kring årsskiftet då det är juluppehåll. Det finns därför ett delsystem i Simulinkmodellen (se figur C-2) som styr skolans öppettider i form av en "av/på-knapp". Delsystemet är uppbyggt av en mängd pulsgeneratorer och steggeneratorer som ger värdet ett eller noll. Pulsgeneratorer skickar värdet ett under de timmarna och dagar som förskolan normalt är öppen en vanlig vecka och värdet noll när den är stängd. Sommar- och juluppehållet representeras istället av två par stegfunktioner som ger signalen noll då det är uppehåll och signalen ett övriga delar av året. "Christmas start" och "Christmas end" samt "SummerBreak start" och "SummerBreak end" styr när Almtuna förskola har längre uppehåll. "OpenDays" och "OpenHours" styr istället Almtuna förskolas normala öppettider.





Figur C-2. Delsystem som styr förskolans öppettider.

### C - 3.2 Delsystem: Transmissionsförluster

Den totala arean för varje byggnadskomponent erhöles från planritningar över Almtuna förskola. Dock saknades ritningar som beskriver materialsammansättningen i de olika byggnadskomponenterna. Ett verkligt U-värde kunde därför inte beräknas utan uppskattades genom att undersöka liknande förskolor som byggdes under samma period. I en rapport utförd av Boverket och Energimyndigheten redovisas statistik för förskolor, däribland U-värden för väggar, tak och fönster (Energimyndigheten, 2007). De typvärden som anges för skolor byggda under åren 1990-1992 anses vara representativa för Almtuna förskola som byggdes 1991. U-värdet för ytterdörrarna antogs vidare vara  $2,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  vilket motsvarar värdet för gamla dörrar i enlighet med Saidzadeh, 2013. Sammanställda U-värden med respektive area redovisas i tabell C-1.

Tabell C-1. Byggnadskomponenter med respektive totalarea och U-värde som gäller för Almtuna förskola.

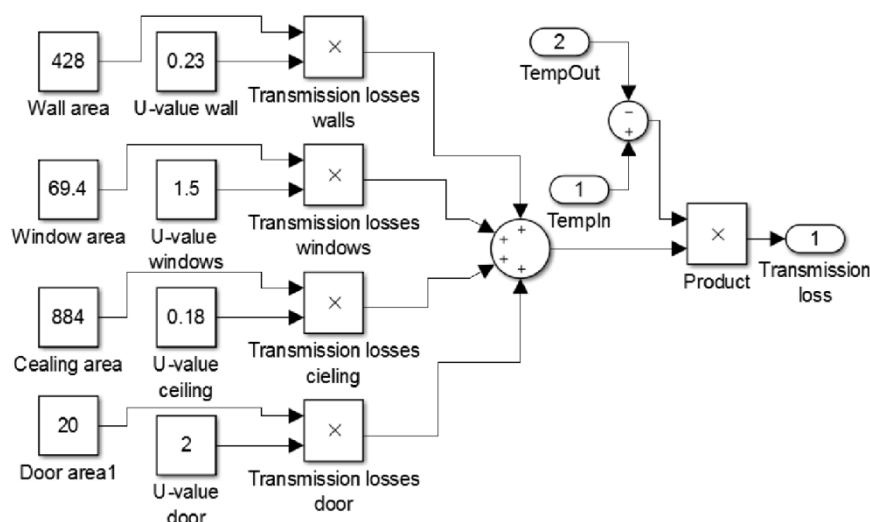
Byggnadsdel	U-värde, $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Area <sup>c</sup> , $\text{m}^2$
Väggar	0,230 <sup>a</sup>	428
Tak	0,180 <sup>a</sup>	884
Fönster	1,50 <sup>a</sup>	69,4
Dörrar	2,00 <sup>b</sup>	20,0

<sup>a</sup>: Energimyndigheten, 2007.

<sup>b</sup>: Saidzadeh, 2013.

<sup>c</sup>: Arbetsritning, 1999.

Transmissionsförlusterna modellerades i Simulink enligt figur C-3 genom att tillämpa ekvation C-4 med de U-värden och de areor som redovisas i tabell C-1. Delsystemet för transmissionsförluster använder ute- och innetemperatur som indata och ger de totala transmissionsförlusterna som uteparameter. Vägarean och Uvärdet för respektive byggnadskomponent multipliceras med varandra och summeras med hjälp av ett additionsblock. Summan multipliceras därefter med differensen mellan inne- och utetemperatur vilket ger de totala transmissionsförlusterna som uteparameter.



Figur C-3. Simulinkmodell för Almtuna förskolas transmissionsförluster.

### C - 3.3 Delsystem: Ventilation

Från OVK-protokollet för Almtuna förskola framgick hur stora volymflödena var och att de delades upp mellan tilluft till storköket och övriga delar av byggnaden (Almtuna förskola OVK-protokoll, 2007). Respektive volymflöde redovisas i tabell C-2 tillsammans med densitet och värmekapacitet för luft. Enligt OVK-protokollet saknades värmeåterledning i storköket men i den övriga byggnaden användes en roterande värmeväxlare som antogs ha en verkningsgrad på 70 %. I Simulink modellerades således storkökets tilluftsflöde enligt ekvation C-6 och den övriga byggnadens tilluftsflöde enligt ekvation C-7. Modellen byggdes även på antagandet att ventilationen hade ett grundflöde på 30 % då förskolan var stängd.

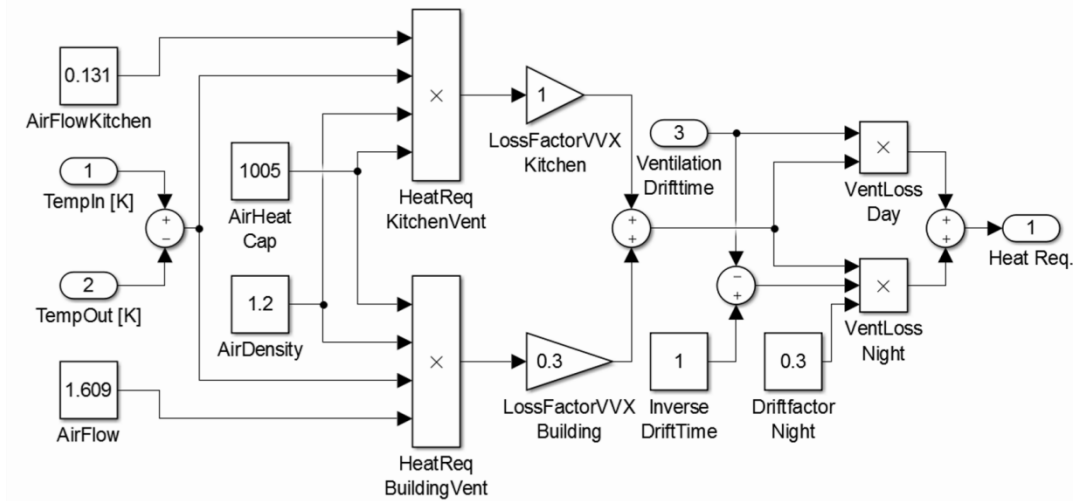
De konstanta blocken "AirHeatCap" och "AirDensity" representerar värmekapacitet och densitet för luft. Dessa multipliceras med respektive volymflöde, förlustfaktorn vid värmeåterledning samt differensen mellan inne- och utetemperatur vilket ger ventilationsförlusterna. "DriftfactorNight" är en faktor som anger grundflödet som används under nätter och helger.

Tabell C-2. Parametrar som påverkar värmeförluster via uppvärmning av kall tilluft i ventilationssystemet och dess värden.

Tilluft kök, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	0,131 <sup>a</sup>
Tilluft övrig byggnad, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	1,609 <sup>a</sup>
Värmekapacitet för luft, $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1005 <sup>b</sup>
Densitet rumstempererad luft, $\text{kg m}^{-3}$	1,2 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>: Almtuna förskola OVK-protokoll, 2007

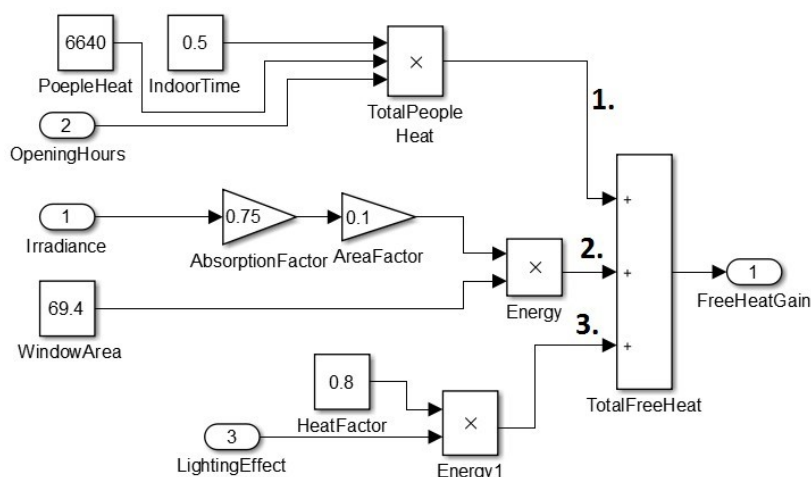
<sup>b</sup>: The Engineering ToolBox, u.å.



Figur C-4. Delsystem som beskriver uppvärmning av tilluft.

### C - 3.4 Delsystem: Gratisvärme

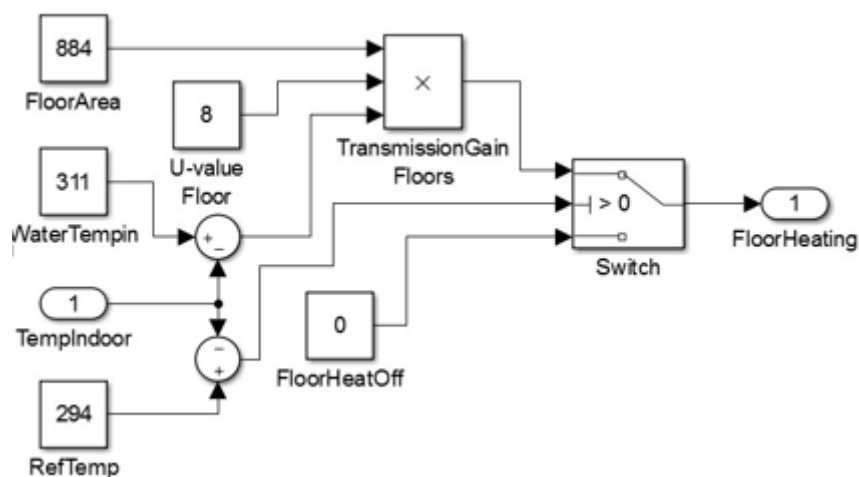
I Simulink representerades det interna värmetilskottet från gratisvärme av ett eget delsystem. Gratisvärmens från inbelysningen modellerades enligt ekvation C-7, innan belysningsbytet användes  $\eta=0,9$  som omvandlingsfaktor för hur stor del av den elektriska energin som blir värme hos glödlampor. Vid bytet till LED-belysning användes istället  $\eta=0,8$  i enlighet med Yung m.fl. , 2013. Drifttiden och den installerade effekten för erhöles från en platsintervju och inventering vid Almtuna förskola och redovisas i tabell C-3. Gratisvärmens från människor modellerades i Simulink med ekvation C- 8. Platsintervjun vid Almtuna förskola gav att antalet barn var 92 och att antalet vuxna var 14, enligt ekvation C-8 resulterar det då i ett intern värmetilskott på 6,64 kW. Vidare angavs att barnen och personalen är utomhus ungefär hälften av tiden vilket modelleras genom att multiplicera värmetilskottet från människor med en faktor 0,5 i Simulink. I Simulink modellerades slutligen solinstrålningen enligt ekvation C-9. Solsfaktorn erhöles genom att anta att Almtuna förskola har 2-glasfönster av vanligt floatglas som har en solsfaktor på 0,75 enligt SS EN 410, vilket är ett standardmått för bestämning av ljus- och soloptiska egenskaper hos byggnadsglas (Levin, 2009). Vidare användes timdata för direkt solstrålningen i Uppsala under ett år samt uppskattningar om hur stor area som träffas av strålningen vinkelrätt. En areafaktor på 0,10 gav ett rimligt värde på värmetilskottet från solinstrålning. Delsystemet som visas i figur C-5 använder öppningstider, direkt solinstrålning och den elektriska effekten för inomhusbelysning som indata.



Figur C-5. Delsystem för gratisvärme. 1,2 och 3 beskriver värmetilskottet från människor, solinstrålning samt belysning.

### C - 3.5 Delsystem: Värmesystem

Från OVK-protokollet, 2007 för Almtuna förskola framgick att vattenburen golvvärme med fjärrvärme används som värmesystem. Det framgick även att byggnaden saknar luftkonditionering vilket medför att byggnaden inte kan kylas, vilket innebär att golvvärmen är i drift när innetemperaturen sjunker under 21°C och stängs av när innetemperaturen överstiger 21°C. Värmen som överförs via golvvärmen sker via transmission mellan det varma vattnet i värmeslingorna och golvet, därför användes ekvation C-1 för att modellera golvvärmen. I modellen antogs golvet ha U-värdet  $8 \text{ Jm}^{-2}\text{K}^{-1}$  i enlighet med (Beithou, 2014). Vidare antogs också att golvet har samma temperatur som inneluften och att vattnet i värmeslingorna har en temperatur på 38 C°. I verkligheten regleras dock vattentemperaturen mellan 25- 38 C° med hjälp av en termostat. I Simulink modellerades termostaten med en så kallad switch som slår på maximal uppvärmning när inomhustemperaturen sjunker under 21 C°. Om innetemperaturen är 21C° eller högre slås istället golvvärmen av. Golvvärmen antogs vidare ha en värmeförlust på 20 procent då all transmission inte sker uppåt. Delsystemet i figur C-6 tar innetemperaturen som indata och tillför sedan värme till byggnaden om innetemperaturen är lägre än 21°C alternativt upphör att tillföra värme om innetemperaturen överstiger 21°C.



Figur C-6. Delsystem för golvvärme.

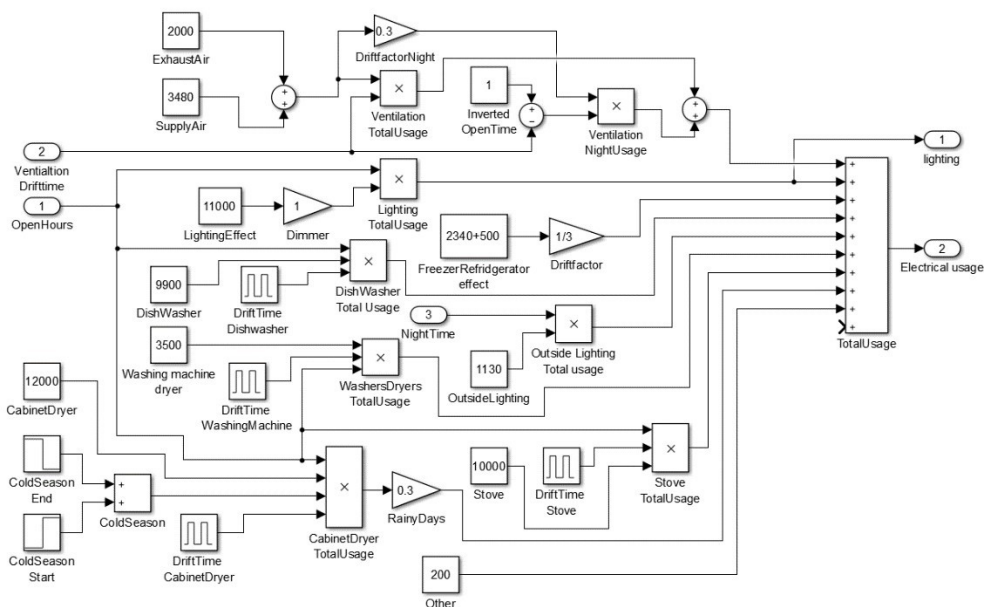
### C - 3.6 Delsystem: Elanvändning

En inventering av elektriska apparater utfördes vid Almtuna förskola där de olika typerna av elektriska apparater listades tillsammans med dess märkeffekt. Vidare utfördes en platsintervju för att få en uppfattning om de olika elektriska apparaternas drifttider, resultatet från inventeringen och intervjun redovisas i tabell C-3. I Simulink modellerades elanvändningen för de olika elektriska apparaterna med ekvation C-14. I delsystemet (se figur C-7) anges de olika elektriska apparaterna i form av dess märkeffekt och driftfaktor som multipliceras med drifttiden som styrs med en pulsfunktion. Slutligen summeras de elanvändningen för varje enskild elektrisk apparat vilket ger den totala elanvändningen.

Tabell C-3. Inventering av elektriska apparater vid Almtuna förskola tillsammans med dess märkeffekt, drifttid och driftfaktor. I tabellen anges också hur vida användningen följer förskolans öppettider eller inte.

Apparat	Märkeffekt, W	Drifttid	Driftfaktor	Följer öppettider?
Kyl och frys	3840	Konstant	0,33	Nej
Diskmaskin	9900	Ca 1h efter lunch	1	Ja
Spis	17600	Ca 1h innan lunch	0,57	Ja
Torkskåp	12000	2,5 h var tredje dag på vinterhalvåret	1	Ja
Ventilationsfläktar	8000	Vardagar 6-18 Övrig tid	0,69 0,21	Nej Nej
Tvättmaskin och torktumlare	3500	Ca 6h om dagen	1	Ja
Inomhusbelysning innan/efter lampbyte	11000/6400	Konstant	1/ 0,7	Ja
Utombusbelysning innan/efter lampbyte	1130/630	När det är mörkt	1	Nej

<sup>a</sup>: Värdena erhöles från inventering vid Almtuna förskola

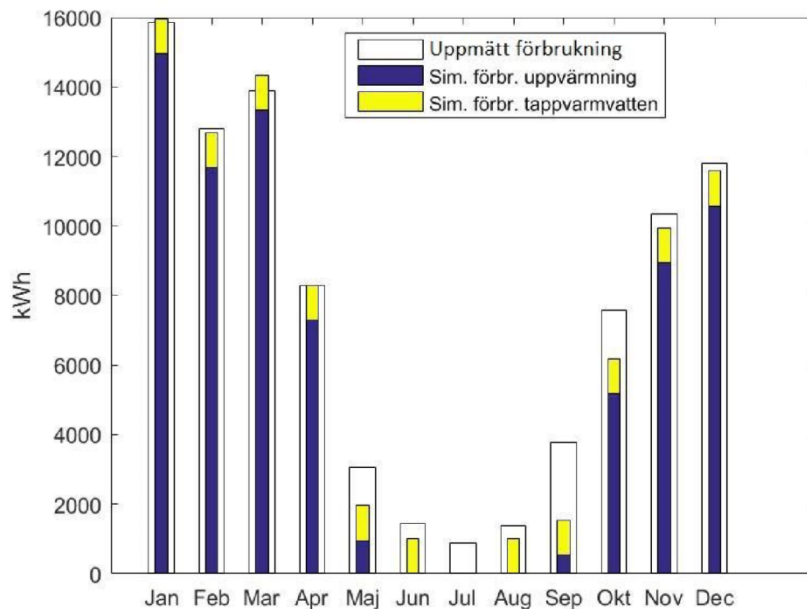


Figur C-7. Delsystem över elanvändningen.

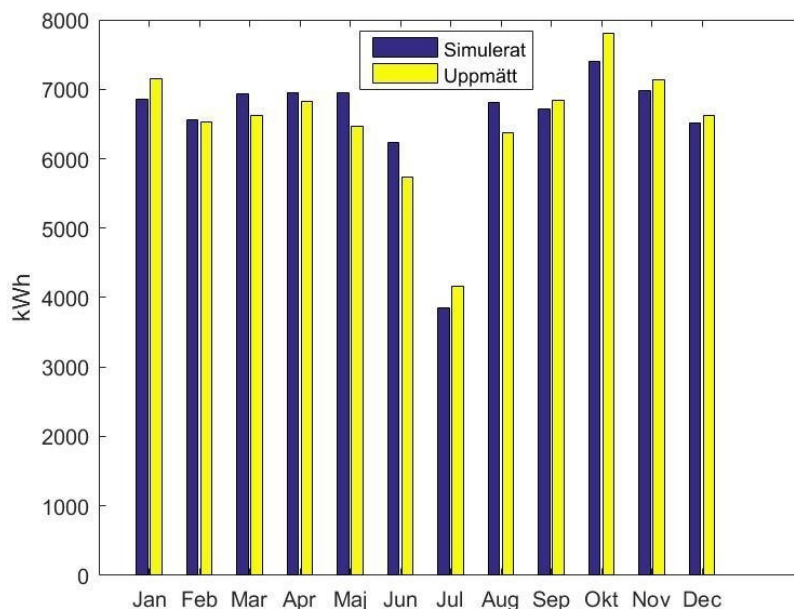
### C - 3.7 Modellanpassning

Modellen anpassades till förbrukningsdaten av elektricitet och fjärrvärme hos Vattenfall AB. Förbrukningsdaten som användes till anpassningen var för året 2013 för både elektricitet och fjärrvärme och illustreras i figur C-8 och C-9. Fjärrvärmeanvändningen anpassades till verklig data genom att ta hänsyn till värmeförluster hos värmesystemet, det visade sig att 20 % värmeförluster gav ett rimligt värde. Fjärrvärmen anpassades dessutom genom att lägga till en fjärrvärmeanvändning på omkring 10000 kWh per månad för användning av tappvarmvatten.

## Bilaga C- Simuleringsmodellering



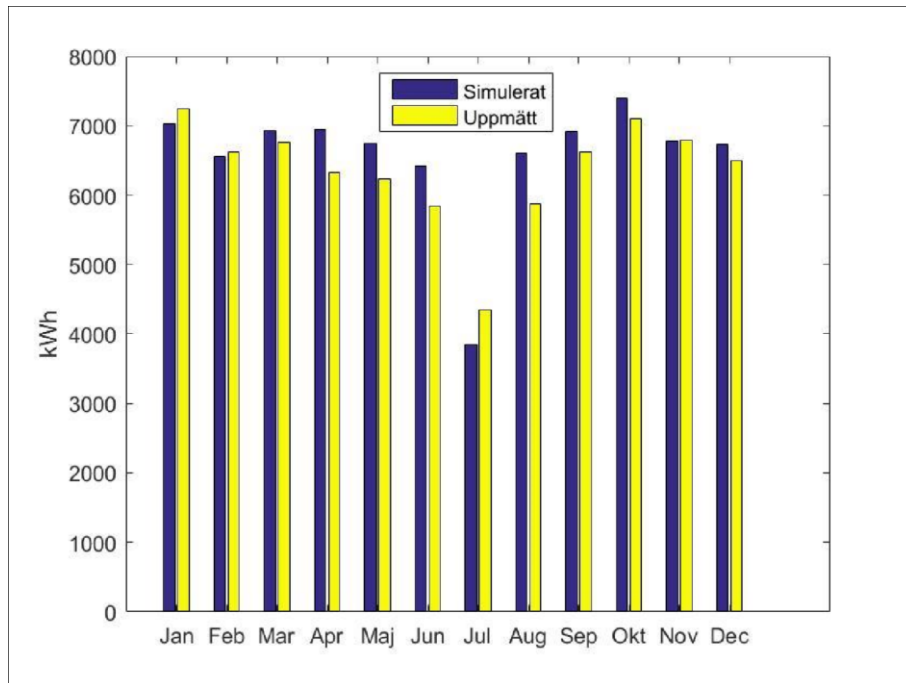
Figur C-8. De simulerade och uppmätta värdena för Almtuna förskolas fjärrvärmeanvändningen efter modellens anpassning till förbrukningsdatan hos Vattenfall AB år 2013.



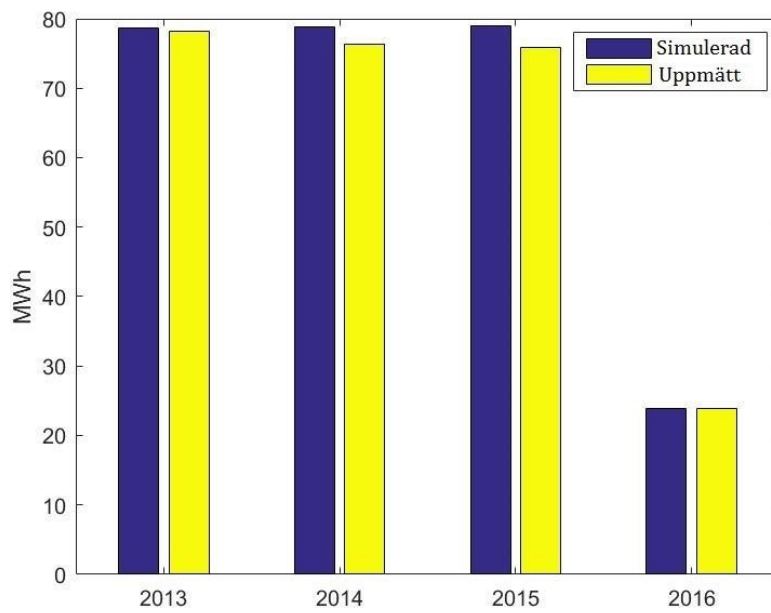
Figur C-9. De simulerade och uppmätta värdena för Almtuna förskolas elanvändning efter modellens anpassning till förbrukningsdatan hos Vattenfall AB år 2013.

### C - 3.8 Validering av modell

Valideringen av modellen utfördes genom att simulera tre perioder som inte var med i modellen anpassningen för att undersöka hur väl modellens uppskattning stämmer med den verkliga förbrukningen. De år som undersöktes vid valideringen var 2014, 2015 och början av 2016, på så vis kunde modellen även undersökas för att se hur väl den tar hänsyn till belysningsbytet i november-december 2015. Resultatet från valideringen illustreras i figur C-10 till och med C-13.

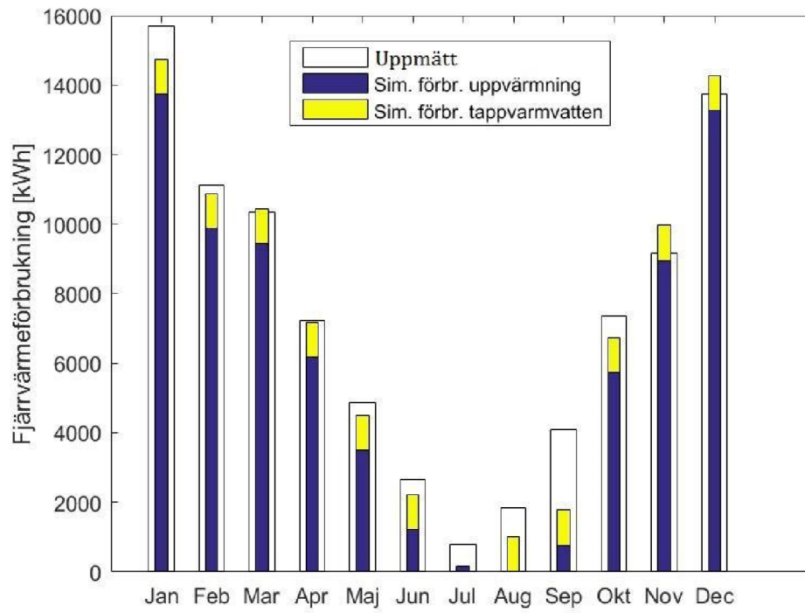


Figur C-10. De simulerade och uppmätta värdena för Almtuna förskolas elanvändning vid validering av förbrukningsdaten hos Vattenfall AB år 2014.

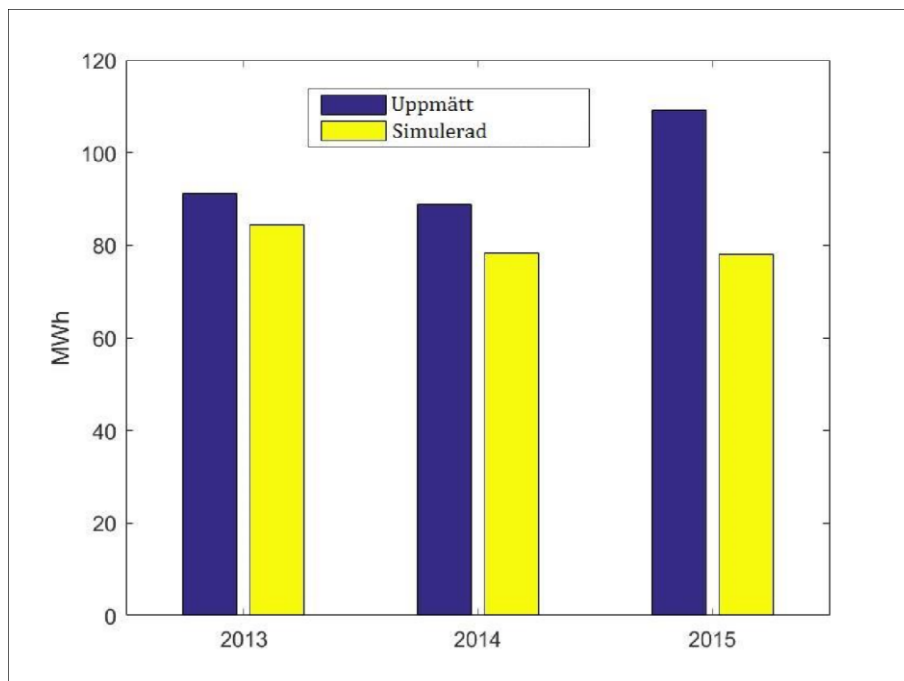


Figur C-11. Simulerade och uppmätta värden för Almtuna förskolas årliga elanvändning under tidsperioden 2013-2016. År 2016 avser enbart perioden januari t.o.m. april.

## Bilaga C- Simuleringsmodellering



Figur C-12. De simulerade och uppmätta värdena för Almtuna förskolas fjärranvändning vid validering av förbrukningsdatan hos Vattenfall AB år 2014.



Figur C-13. Simulerade och uppmätta värden för Almtuna förskolas årliga fjärrvärmeanvändning under tidsperioden 2013-2015.



## **C - 4. Diskussion**

### **C - 4.1 Elanvändning**

Syftet med detta delarbete var att simulera effekten av belysningsbytet till senaste LED-teknik vid Almtuna förskola vilket skedde under perioden november-december 2015. Trovärdiga besparingar var dock svåra att erhålla av flera anledningar. Framför allt berodde det på att det saknades värden för installerad effekt hos belysningssystemet innan lampbytet som därför uppskattades (se bilaga B). I och med att belysningssystemet sedan lampbytet är dimbart är det även det svårt att modellera dess elektriska energikonsumtion då effektförbrukningen är momentan. Något som dessutom bör påpekas är att den simulerade baslasten för Almtuna förskola är något för låg jämfört med den verkliga även om dygnsvärdena stämmer relativt bra överens till helhet. Det är svårt att säga vad detta beror på då det inte var möjligt att utföra mätningar på byggnaden. Till helhet anses dock modellen vara en bra representation av verkligheten trots att den simulerade förbrukningen avviker något från den verkliga. Under- och överskattningar för varje månad leder till att den totala simulerade årsförbrukningen stämmer relativt väl överens med den verkliga.

### **C - 4.2 Fjärrvärmeanvändning**

Många av de fortsatta effektiviseringsåtgärder som är aktuella för Almtuna förskola berör värmebalansen, exempelvis byten av fönster. Det är därför viktigt att modellen är en bra representation av verkligheten. Den verkliga förbrukningen av fjärrvärme är anmärkningsvärt högre än den simulerade även fast det för 2014 stämde väl överens på månadsbasis vid valideringen. En bidragande faktor till detta är att det verkar finnas en tröghet i modellen under augusti och september där inomhustemperaturen inte sjunker under 21 C° trots att utomhustemperaturen är betydligt lägre. I verkligheten sker med största sannolikhet manuell kylning genom att exempelvis vädra byggnaden. Detta är något som inte modellen tar hänsyn till.

Den simulerade fjärrvärmeförbrukningen för 2015 stämmer dock inte överens med den uppmätta, varken på månads- eller årsbasis. Den verkliga förbrukningen 2015 avviker från både 2013 och 2014 trots att utomhustemperaturen varit någorlunda lika. Om det hade funnits mer data tillgängligt hade det varit möjligt att undersöka om 2015 verkligen är ett avvikande år eller inte. Med förbrukningsdata för flera år är det också lättare att göra en bättre anpassning än den i denna delrapport.

## **C - 5. Slutsats**

Simulinkmodellen är inte en fullständig representation av Almtuna förskolas energisystem. Den anses dock vara tillräcklig för att uppskatta förskolans energiförbrukning och för att utvärdera olika energieffektiviseringsåtgärder. Om mer tid fanns tillgänglig kunde modellen förbättras genom att bland annat införskaffa byggnadsspecifika värden istället för schablonvärden, exempelvis för byggnadskomponenternas U-värden.

## C - 6. Referenser

Alvarez H. (2006). *Energiteknik*. Lund: Studentlitteratur AB.

Arkitektjänst AB (1999). Arbetsritning.

Beithou, N. (2014). Mathematical Modelin of a Double Pass Underfloor Heating System.

Bäckström S. (2014). *Energieffektivisering i ridanläggningen i Råneå*. Luleå: Luleå Tekniska Universitet

Energimyndigheten (2007). Energianvändning & inomhusmiljö i skolor och förskolor – Förbättrad statistik i lokaler, STIL 2.

Firlag S. & Zawada B. (2013). Impacts of airflows, internal heat and moisture gains on accuracy of modeling energy consumption and indoor parameters in passive building. *Energy and buildings* 64, 372-383.

SMHI. 2016. Extracting STRÅNG data. URL: <http://strang.smhi.se/extraction/index.php>

Kumar A. & Harish V.S.K.V H. (2016). A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 1272-1292.

Levin P. (2009). Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. *Svebyprogrammet Projektrapport 20*.

Saidzadeh M. (2013). *Energimodellering av ett flerbostadshus – en parameterstudie*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

The Engineering ToolBox. *Air properties*. [http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html) [2016-05-24].

Thorszelius Ventilation & Service AB (2007). Besiktningssprotokoll OVK.

Yung K.C., Liem H, Choy H. & Cai Z. (2014). Thermal investigation of a high brightness LED array package assembly for various placement algorithms. *Applied Thermal Engineering* 63 (1), 105-118.

## Bilaga D - Simulering av solceller

Dennis Holmlund, Maria Dalheim

2016-06-10

### D - 1. Inledning & syfte

Under hösten 2015 har energieffektiviseringsåtgärder utförts på Almtuna förskola, det som gjordes var att byta ut de gamla lamporna mot lampor av typen LED. En möjlig framtida energieffektiviseringsåtgärd är att börja producera egen el med hjälp av solcellsmoduler på taket.

Syftet för denna delrapport är att simulera hur mycket som en solcellsanläggning i två scenarion skulle kunna producera och göra en känslighetsanalys för simuleringen. Ett av dessa scenarion benämns som det verkliga scenariot, där antalet moduler valts för att uppnå en produktion motsvarande 10 % av den beräknad nuvarande årsförbrukningen för Almtuna förskola. Det andra scenariot går ut på att förskolan utöver solcellsmoduler även använder sig av energilager, det scenariot benämns som "maxade scenariot". I maxscenariot är taken täckta med så många moduler som möjligt.

### D - 2. Metod

För att kunna uppskatta hur mycket som potentiellt kan produceras har simuleringar gjorts med hjälp av PVsyst (PVsyst, 2016). PVsyst är en programvara, där man ritar upp platsen med byggnaderna, träd etc. Sedan kan man i PVsyst välja hur många moduler, typ av moduler och växelriktare, för att sedan simulera hur mycket som kan produceras. Inparametrar för den aktuella platsen är väderdata som PVsyst hämtar från PVGIS (PVGIS, 2014), väderdatan som fås av PVGIS är månadsvis, men PVsyst tar denna data och beräknar fram timdata ur denna (Mermoud & Wittmer, 2014). PVGIS i sin tur använder sig av satellitbilder över platsen för att beräkna väderdatan (PVGIS, 2014). Resultatet som PVsyst presenterar visar anläggningens totala produktion, skuggning och hur mycket som producerats timvis.

#### D - 2.1 Verkliga scenariot med 10 % ersättning av elförbrukningen

10 % av elförbrukningen skall ersättas med solkraft enligt önskemål från Micael Östlund på Skolfastigheter AB. I detta scenario användes monokristallina solceller från SunPower och effektoptimerare och växelriktare från SolarEdge. SunPower har hög kvalitet och är rankade högst på Solar Score Card. Solar Score Card analyserar olika parametrar inom miljö och säkerhet vilket resulterar i en total poäng som reflekterar företagets miljöarbete (SVTC, 2015). Ytterligare fördelar med SunPower är deras garanti och verkningsgrad. De har en effektgaranti att verkningsgraden för deras moduler inte kommer understiga 87 % inom en 25 års period, samt att de har en 25 års produktgaranti. Monokristallina solceller valdes då de har 2-3 % högre verkningsgrad än polykristallina solceller. Nackdelen med monokristallina solceller är att det dyrare än polykristallina, men den högre verkningsgraden ger att det i längden lönar sig (Kjell Bengtsson, 2016).

Enligt Hugo Larsson på Save by Solar är det bästa valet av växelriktare en central växelriktare och effektoptimerare även kallat mikro-växelriktare (Hugo Larsson, 2016, personlig intervju). Det enda företaget som producerar effektoptimerare är SolarEdge, om man installerar SolarEdge effektoptimerare behöver man även installera SolarEdge central växelriktare. En effektoptimerare sitter på varje modul och är en liten DCDC konverterare som reglerar modulen. Fördelen med effektoptimerare är att om en av solcellsmodulerna skuggas så påverkas inte de andra, alltså den skuggade solcellsmodulen påverkar inte de resterande solcellsmodulerna samtidigt som det enbart krävs en central växelriktare. Att installera effektoptimerare ökar totalkostnaden, men de ger högre

## Bilaga D- Simulering av solceller

total verkningsgrad på anläggningen vilket gör att mer energi kan produceras, därav är installationen av effektoptimerare lönsamt i längden (Hugo Larsson, 2016 personlig intervju). Enligt Kjell Bengtsson på Euronom är det bästa valet av växelriktare en central växelriktare från företaget SMA (Kjell Bengtsson, 2016 personlig intervju), därför gjordes en jämförelse mellan effektoptimerare och central växelriktare från SolarEdge med central växelriktare från SMA. I analysen användes SMA modell TL Sunny Boy och SolarEdge Trnsfo SE2200 med effektoptimerare P400-US.

### D - 2.2 Max scenariot

För att undersöka hur mycket solel som potentiellt skulle kunna produceras vid Almtuna förskola simulerades ett max scenario med hjälp av PVsyst. Samma typ av moduler, växelriktare och effektoptimerare användes i det maxade som det verkliga scenariot. Skillnaden i detta scenario var att antalet solcellsmoduler utökades till 198 stycken vilket täckte 323 m<sup>2</sup> av taket och hade topeffekt 64,8 kWp.

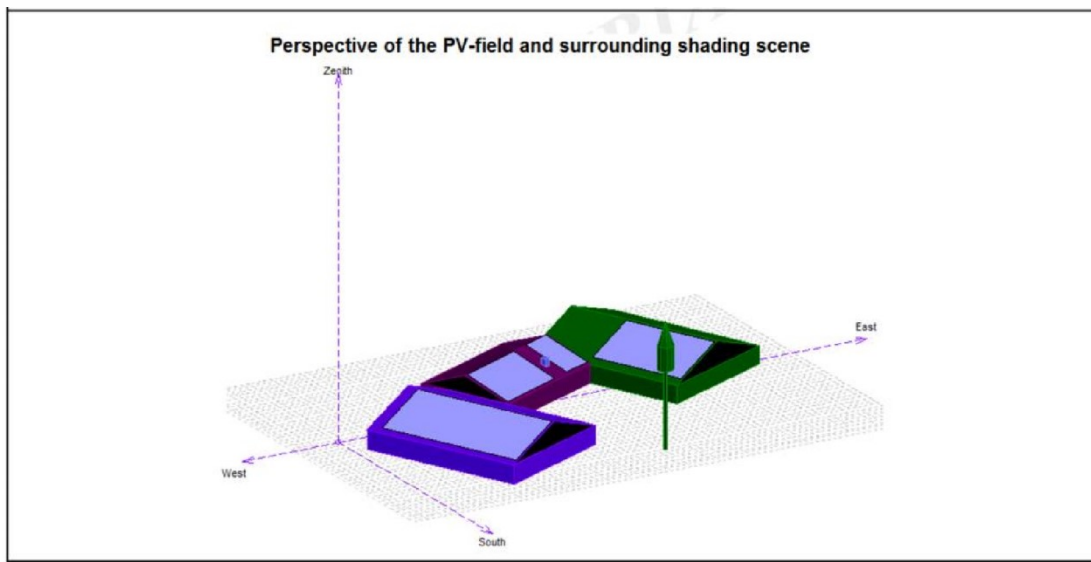
I maxscenariot har centrala byggnadens sydöstra tak fyllts ut med moduler, utom vertikalt ovan och nedanför skorsten, övrig yta har fyllts ut med så många moduler som möjligt. Den östra falangens västra tak har fyllts med moduler fram till i linje med taket på centralbyggnaden. Att inte hela takbredden har använts är en förenkling av bortfallet av moduler på grund av den lilla skorstenen och övergångstaket mellan centralbyggnaden och östra falangen se figur D-1 och D-2. Västra falangens västra tak fylldes med moduler förutom en vertikal rad, detta för överensstämmelse med det produktionsbortfall som den lilla skorstenen som kan ses i figur D-1 ger upphov till. Figur D-3 visar en översiktsbild för solcellsmodulernas placering i PVsyst.



Figur D-1. Satellitvy bild på Almtuna förskola (Hittapunktse AB).



Figur D-2. Visar övergångstaket (till höger i bilden ovanför dörren).

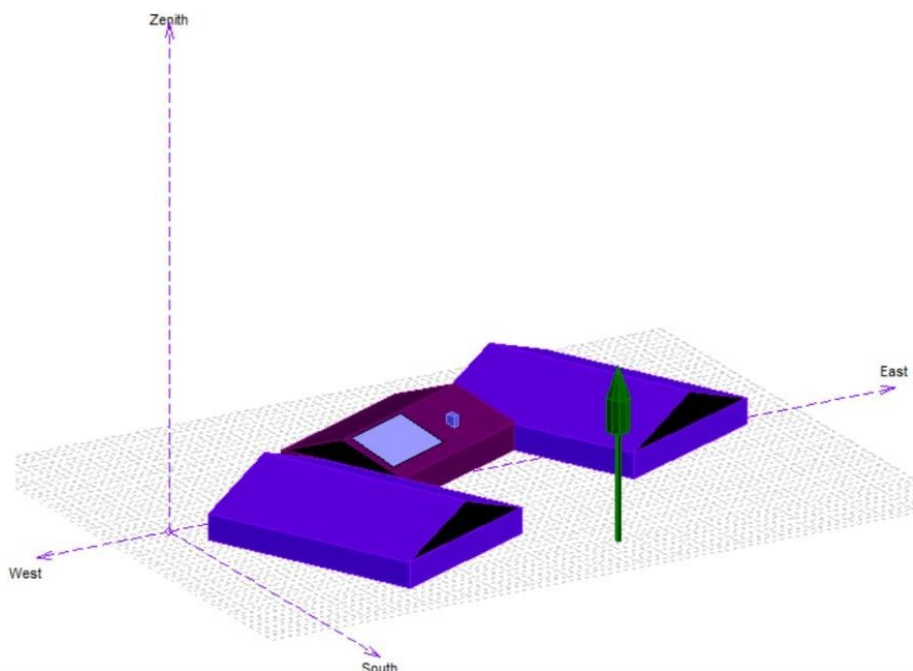


Figur D-3. Översiktsbild av placeringen utav solcellsmodulerna i maxscenariot, där taken är täckta så mycket som är tekniskt möjligt.

### D - 3. Resultat

Ett antal simuleringar i PVsyst resulterade i slutsatsen att det centrala huset (figur D-4) är det optimala taket att installera anläggningen på i förhållande till både skuggning och solinstrålning. 27 monokristallina solcellsmoduler av modellen SPR-E20-327 installerades på respektive tak och därefter jämfördes elproduktionen för de tre olika scenarierna. Då modulerna placerades på den västra falangen på västra taket i figur D-4 blev elproduktionen från systemet 8950 kWh/år, medan för östra falangen västra taket i figur D-4 blev elproduktion från systemet 8880 kWh/år och motsvarande siffra för det centrala huset på södra taket i figur D-4 gav det bästa förhållandet med en elproduktion från systemet på 9610 kWh/år.

## Bilaga D- Simulering av solceller



Figur D-4. Översiktsbild över optimala scenariot för placering av solcellsmodulerna (ljus blått) med hänsenande på skuggning och solinstrålning.

Medelårs förbrukningen mellan 2011 och 2015 på Almtuna förskola var 76900 kWh. I november 2015 gjordes energieffektiviseringsåtgärder på förskolan, analys av datan och simulering gav elförbrukningen 66200 kWh för 2016 (Bilaga C). För att producera 10 % av årsförbrukningen behövs mellan 6620 kWh och 7700 kWh om man inkluderar innan och efter energieffektiviseringsåtgärderna. Vilket uppnås genom installation av mellan 18 och 24 solcellsmoduler enligt figur D-4, vilket är ekvivalent med en totalarea mellan 29,4 m<sup>2</sup> och 39,1 m<sup>2</sup>. Simuleringarna i PVsyst resulterade i att 18 moduler producerar 6400 kWh/år och 24 moduler producerar 8550 kWh/år.

Resultatet av simulering för max scenariot gav en totalproduktion på 66100 kWh per år, vilket är i nivå med den beräknade framtida totalförbrukningen efter de energieffektiviseringsåtgärder som genomfördes i november 2015 för Almtuna förskola.

### D - 3.1 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen undersökte hur olika parametrar påverkade resultatet av simuleringen både för det verkliga scenariot samt för maxscenariot. Parametrarna som analyserades var skuggning, orientering, val av panel och påverkan av effektoptimerare. Husets takvinkel på 20 grader skiljer sig för visso från optimum på 42 grader (Annegren, m.fl. 2014), men ingen känslighetsanalys har gjorts på detta. I ett examensarbete gjordes en analys just på hur skillnaden i takvinkeln från optimum påverkar total produktionen, utifrån denna rapport har bedömningen gjorts att takvinkeln har marginell påverkan på totalproduktionen (Annegren, m.fl. 2014). Detta bekräftas också av intervjun med Kjell Bengtsson (Kjell Bengtsson, 2016, personlig intervju).

#### D - 3.1.1 Verkliga scenariot med 10 % ersättning av elförbrukningen Placering av omgivningsfaktorer

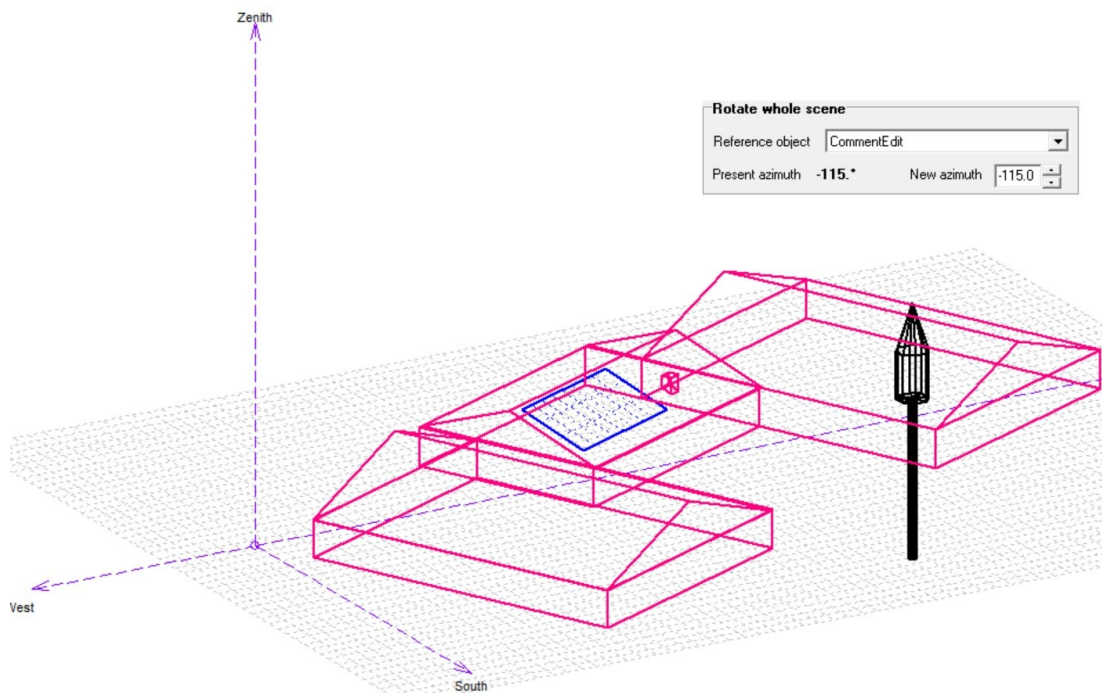
Data på exakta placeringen av träden som står på innegården och dess höjd fanns inte tillgängligt.

Placeringen valdes med hjälp av bilder från platsen, samt satellitvyn på både hitta.se (Hittapunktse AB) och Google maps (Google Inc, 2016). För att se hur storlek och placeringen av träden påverkar skuggningen och därmed årsproduktionen, har flera simuleringar gjorts med olika variationer av dessa parametrar så som tjocklek, längd och antal. I samtliga simuleringar var anläggningen bestående av 21

moduler från SunPower av model SPR-E20-327 samt P404 effektoptimerare och SE6000 växelriktare från SolarEdge. Resultat av simuleringarna i PVsyst var att årsproduktion påverkades mindre än 0,5 %

### Husets orientering

Husets orientering har fått av uppskattningar med satellitvyn på *hitta.se* (Hittapunkt.se AB) och *Google maps* (Google Inc, 2016). Den uppskattade orienteringen är azimuth -115 grader se figur D-5, vilket gav årsproduktionen 8559 kWh med 24 Si-mono solcellsmoduler från SunPower SPR-E20-327 samt P404 effektoptimerare och SE6000 växelriktare från SolarEdge.



Figur D-5. Almtuna förskolas orientering i PVsyst.

För att undersöka hur stor påverkan orienteringen har på elproduktionen utfördes två simuleringar med exakt samma parametrar som ovan men med olika azimuth: -110 grader och -120 grader. Simuleringen för azimuth -110 grader gav årsproduktionen 8619 kWh och årsproduktionen för azimuth -120 grader blev 8525 kWh. Detta innebär att om den uppskattade orienteringen är inom intervallet -110 grader och -120 grader så påverkas resultatet med 0,40 % till 0,70 %. Om man däremot förändrar azimuth med 25 grader åt båda hållen blir det en större skillnad på resultat. Med azimuth -90 grader så ökar årsproduktionen med 1,56 % medan azimuth -140 grader minskar årsproduktionen med 3,96 %.

### Val av solcellstillverkare

För att avgöra påverkan av tillverkare på årsproduktionen jämfördes SunPower med Haeron. Haeron valdes då företaget hade fått lägre än 15 poäng på solar score card, medan SunPower hade 97 av 100 poäng. Simuleringen med Haeron gav en årsproduktion på 6829 kWh gentemot 7472 kWh med SunPower, alltså en minskning av årsproduktionen med nästan 8 %. Dessutom var totalarean för modulerna med Haeron cirka 20 % större, se tabell D-1. I känslighetsanalysen användes växelriktaren 2,2kW Fixed 350V Trnsfo SE2200 och effektoptimeraren P400-US från SolarEdge.

## Bilaga D- Simulering av solceller

Tabell D-1. Solcellsmodulerna som jämfördes i känslighetsanalysen.

Tillverkare	Modell	Produktion	Area	Antal moduler
Haeron	HR-320-24/Ca	6829 kWh/år	40,7 m <sup>2</sup>	24
Sunpower	SPR-E20-327	7472 kWh/år	34 m <sup>2</sup>	24

### Val av växelriktare

Resultatet från simuleringen visade att valet av växelriktare endast hade en marginell påverkan på totala årsproduktionen, då årsproduktionen uppgick till 7432 kWh med SMA i jämförelse med 7472 kWh med växelriktaren från SolarEdge, se tabell D-2, vilket är en minskning med cirka 0,5 %. I känslighetsanalysen användes solcellsmodulen SPR-E20-327 från Sunpower.

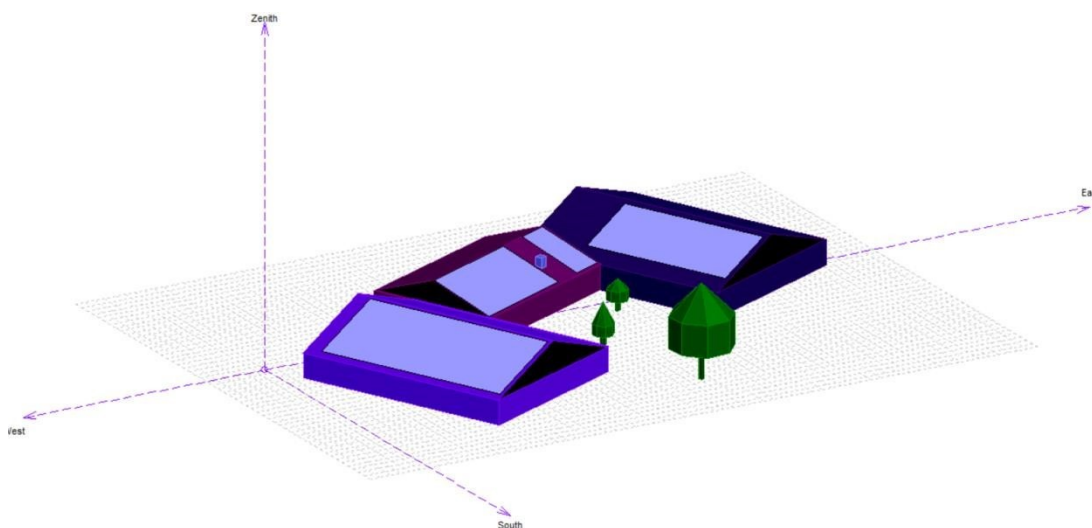
Tabell D-2. Växelriktarna som jämfördes i känslighetsanalysen.

Tillverkare	Modell	Effektoptimerare	Produktion, kWh/år
SMA	2,5kW 260-480V TL Sunny Boy 2,5		7432
SolarEdge	2,2kW Fixed 350V Trnsfo SE2200	P400-US	7472

## D - 3.1.2 Maxscenario

### Placering av omgivningsfaktorer

Precis som i det verkliga scenariot med 10 % ersättning av elförbrukningen undersöktes för maxscenariot hur omgivningsfaktorerna påverkade solcells anläggningens elproduktion. Resultatet från de olika simuleringarna var densamma som för det verkliga scenariot med 10 % ersättning av elförbrukningen. Årsproduktionen påverkades med mindre än 0,5 %. En av dessa simuleringar ses i figur D-6.



Figur D-6. Översiktsbild över maxscenariot med ändrade omgivningsfaktorer: antal träd, tjocklek och höjd på träden.



### Val solcellstillverkare

Årsproduktionen med SunPower blev 66224 kWh och simuleringen för Haeron gav årsproduktionen 45933 kWh. Dock behövdes en del av parametrarna förändras för att kunna köra simuleringen i PVsyst. I referens scenariot med SunPower installerades 198 solcellsmoduler som täckte 323,4 m<sup>2</sup> av taket medan i det jämförande scenariot med Haeron installerades 151 solcellsmoduler som täckte 292,4 m<sup>2</sup> av taket, se tabell D-3. Detta ger att för simuleringen med Haeron så minskade den totala arean med cirka 10 % och årsproduktionen med 31 % i jämförelse med SunPower. Med detta resultat drogs slutsatsen att SunPower producerar mer elektricitet i förhållande till arean för solcellsmodulerna. I känslighetsanalysen användes växelriktaren 2,2 kW Fixed 350V Trnsfo SE2200 och effektoptimeraren P400-US från SolarEdge.

### Val av växelriktare

Precis som i den verkliga modellen behölls modulerna från SunPower, och istället för Solaredge växelriktare så användes en växelriktare från SMA av model 260-480V TL Sunny Boy 2,5. Med SMA's växelriktare erhöles årsproduktionen 64488 kWh, se tabell D-4, vilket är minskning med 2,6 % jämfört med växelriktare och effektoptimerare från SolarEdge. I känslighetsanalysen användes solcellsmodulen SPR-E20-327 från Sunpower.

Tabell D-3. Solcellsmodulerna som jämfördes i känslighetsanalysen.

Tillverkare	Modell	Produktion, kWh/år	Area, m <sup>2</sup>	Antal moduler
Haeron	HR-320-24/Ca	45933	292,4	151
Sunpower	SPR-E20-327	66224	323,4	198

Tabell D-4. Växelriktarna som jämfördes i känslighetsanalysen.

Tillverkare	Modell	Effekt- optimerare	Produktion, kWh/år
SMA	2,5kW 260-480V TL Sunny Boy 2,5		64488
SolarEdge	2,2kW Fixed 350V Trnsfo SE2200	P400-US	66224

## D - 4. Diskussion

En begränsning med simuleringarna i PVsyst är att det inte går simulera mot ett "optimalt" scenario. För att kunna simulera mot detta optimum skulle det krävas att produktionen kunde jämföras mot elförbrukning för förskolan och kostnaden för anläggningen, vilket inte går att hämta in i PVsyst. På grund av detta har simuleringar gjorts utifrån ett grundantagande att 10 % av elförbrukningen ska täckas av solkraft. Andelen 10 % beror på olika faktorer, så som vilket referensscenario man utgår ifrån och om anläggningens produktion skall motsvara 10 % av elförbrukningen eller om det ska kunna förse Förskolan 10 % av förbrukningen. Skillnaden mellan att förse eller producera 10 % uppkommer om inte all produktion kan användas direkt, dvs om överskottsproduktion uppstår. Simuleringarna för att ta fram det verkliga scenariot utgick från den förenklade bilden att andelen 10 % är av den totala elförbrukningen. Detta då dessa simuleringar främst ämnade ge en bild av påverkan av olika omgivningsfaktorer samt betydelsen av anläggningens storlek.

Känslighetsanalysen gav resultatet att trädens storlek inte hade någon märkbar påverkan på årsproduktionen oavsett antalet moduler. Simuleringarna visade även att azimuth inte hade en märkbar påverkan på årsproduktionen då det inte skiljde med mer än 5 grader från antagna referens scenariot, dock påverkades årsproduktionen med uppemot 4 % om azimuth förändrades med 25 grader. Detta anses dock vara ett högst osannolikt scenario då azimuth bestämdes med hjälp av kompassvisaren på *hitta.se* (Hittapunktse AB) och bör därför ligga inom 5 grader från den verkliga positionen.

## Bilaga D- Simulering av solceller

Känslighetsanalyserna på både max scenariot och det verkliga scenariot med avseende på omgivningsfaktorerna så som trädbestånd gav samma andel påverkan på årsproduktionen. Vid jämförelse av solcellsmoduler och växelriktare skilde sig resultatet något för de två olika scenarierna. Skillnaden beror på att det centrala taket är mer optimalt att installera solcellsmoduler på än de andra två taken.

Solcellstillverkaren hade störst påverkan på årsproduktionen i de känslighetsanalyser som utfördes. Vid jämförelsen av den högst rankade solcellstillverkaren på Solar Score Card och av de lägst rankade fann man att årsproduktionen minskade med 31 % för max scenariot. Dock minskade även solcellsmodulens area med 10 % då anläggningen bytte tillverkare. För det verkliga scenariot minskade årsproduktionen med nästan 8 % och arean ökade med 20 %.

Jämförelsen mellan att använda effektorptimerare och växelriktare från SolarEdge eller enbart växelriktare från SMA resulterade i en minskning i årsproduktion för SMA. Det var en relativt stor skillnad mellan maxscenariot och det verkliga scenariot, 2,6 % respektive 0,5 %. Vilket som ovan nämnt beror på att det centrala taket är mer optimerat för modulerna.

### D-5. Slutsats

Genom att täcka hela Almtuna förskolas tak med solcellsmoduler så skulle solelproduktionen över ett år vara lika stor som elförbrukningen. Medan om enbart en del av ett av taken täcks med solceller så motsvarar solelproduktionen 10 % av elförbrukningen under ett år. Simuleringarna i PVsyst resulterade i slutsatsen att det centrala taket är mest optimalt att placera solcellsmodulerna på och att valet av solcellsmoduler är det som påverkar resultat. De andra faktorernas (azimut, växelriktare och placering av omgivningsobjekt) påverkan på produktionen är för liten för att kunna bekräfta dess påverkan, utifrån två siffrors noggrannhet

### D-6. Referenser

Annegren E., Hällqvist D., Salander K. (2014). Design Optimization of Office Complex Photovoltaics: A case study of photovoltaics at PLAN4 in Uppsala, Sweden. Examensarbete, Uppsala: Uppsala Universitet. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:721631/FULLTEXT01.pdf>

Kjell Bengtsson; projektledare inom sol-el på Euronom. 2016. Intervju 20 april.

Google Inc. (2016). Björkgatan 21, 753 24 Uppsala. Tillgänglig: <https://www.google.se/maps/place/Bj%C3%B6rkgatan+21,+753+24+Uppsala/@59.8644394,17.6617479,15.9m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x465fcc01a45b2693:0xbfda045ef9ffb5c8!8m2!3d59.8644367!4d17.6620299?hl=sv> [2016-04-20]

Hittapunkt.se AB. Björkgatan 21, 753 24 Uppsala. Tillgänglig: <http://www.hitta.se/kartan!~59.86428,17.66216,19z/tr!i=PuRHYPeI/tileLayer!l=1> [2016-04-20].

Hugo Larsson; grundare av Save-by-Solar Sweden AB, Ångström Uppsala Universitet. 2016. Intervju 13 april.

Mermoud A. & Wittmer B. (2014). PVSYST user's manual: PVSYST6. Tillgängligt: [http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst\\_Tutorials.pdf](http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf)

PVGIS. (2014). PVGIS radiation databases. Tillgängligt: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html) [2016-04-21].

PVsyst. (2016). Download PVsyst 6.43. Tillgängligt: <http://www.pvsyst.com/en/software/download> [201604-10].

SVTC. (2015). Solar Manufacturer ratings. <http://www.solarscorecard.com/2015/2015-scorecard.php> [201605-12].

## Bilaga E - Ekonomi, energilagring

Axel Timm, Karl Larson

2016-06-11

### E - 1. Inledning

På Almtuna förskola genomförde fastighetsägaren Skolfastigheter AB energieffektiviserings-åtgärder under slutet av 2015. Skolfastigheter AB undersöker nu möjligheten att genomföra ytterligare energieffektiviseringar samt att installera solpaneler med tillhörande energilagringssenheter på fastigheten. Energilagringssenheter ska göra det möjligt att lagra överskottsel från solpanelerna istället för att sälja överskottseln till elnätet.

I takt med att andelen förnyelsebara energikällor så som vind- och solkraft i vårt samhälle blir allt större så ökar andelen icke planerbar energiproduktion inom energisystemet. Det blir då svårare att matcha elproduktion och elbehov. För att lösa detta problem väntas energilagring få en viktig roll i framtida energisystem (Larsson & Ståhl, 2012). Genom att använda energilagring kan man lagra den överskottsel som produceras när elbehovet är lågt för att sedan använda den lagrade energin när elbehovet överstiger elproduktionen. På så sätt kan man minska beroendet av nätproducerad el och därmed minska kostnaden under effekttoppar eller utnyttja spotprisets variation (Bussar m.fl., 2016).

Det finns idag flertalet olika metoder för energilagring inom elområdet. Den lagringsmetod som förväntas växa mest på den svenska marknaden under de närmsta åren är batterier (Nordling m.fl., 2015). Dels som småskalig energilagring från solpaneler i hemmen men även inom transportsektorn. Batterier förväntas stå för cirka 50 % av de totala investeringarna på marknaden för energilagring fram till 2030. Totalt beräknas ca 1280 miljarder kr investeras i marknaden för batterier under samma tidsperiod (Nordling m.fl., 2015).

Det stora hindret för batterier som energilagring har varit kostnaden. Den uppskattade lagringskostanden för batterilagring där litiumjärnfosfat batteri används ligger i dagsläget på 2-3,33 kr per lagrad kWh (Mats Karlström, 2016 personlig intervju). Nu förväntas skalfördelar samt teknisk innovation driva ner det framtida priset på batterier. Framst förväntas priset på Litiumjonbatterier minska drastiskt. En uppskattning av framtida kostnader för olika batteri visas i tabell E-1.

Tabell E-1. *Uppskattad prisutveckling för batterier lämpade för energilagring (Nordling m.fl., 2015).*

Batterityp	Avancerande bly-syra batterier	Litiumjärnfosfatbatteri	Tesla Power Wall
År 2014, kr/kWh	5100	5950	3000
År 2017, kr/kWh	4675	3655	3000
År 2020, kr/kWh	4250	3740	3000

Energilagringsskostnaden kan förväntas sjunka ytterligare då Miljö- och energidepartementet har föreslagit att regeringen ska avsätta 175 miljoner kr i bidrag för energilagring i svenska hushåll fram till år 2020. Utöver detta kommer Energimyndigheten att få ekonomiskt stöd för satsning på kommersialisering och utveckling av energilagringsteknik (Miljö- och energidepartementet, 2015).

Syftet med denna rapport är att ta fram lagringskostnaden för ett optimerat batterilagringssenheter samt undersöka dess krav för ekonomisk lönsamhet.

## E - 2. Metod

### E - 2.1 Stickprov för batteripris

En småskalig marknadsundersökning genomfördes med syftet att få inblick av pris för litiumjärnfosfatbatteri (LiFePO<sub>4</sub>) från återförsäljare. Detta gjordes för att validera data från tidigare rapporter som bedömdes vara något utdaterade.

### E - 2.2 Försäljning av solel

Alternativet till att lagra överskottet från den producerade solelen var att sälja överskottselen till elbolag. Detta är dock inte en ideal lösning då man som elkonsument senare behöver köpa tillbaka elen till ett dyrare pris när elen från solpanelen inte täcker elförbrukningen. I priset man erhålls för att sälja solel till nätbolagen ingår spotpris, elcertifikat, ersättningseffekt från nätbolag samt en ev. skattereduktion.

Skattereduktion på 60 öre per kWh kan för juridiska personer erhållas så länge man inte har mer än 30 000 kWh överskott per år samtidigt som huvudsäkring i anslutningspunkten inte får överstiga 100 ampere (Skattemyndigheten, 2016). Vissa elbolag ger ersättning på några öre över spotpriset vid försäljning av överskottsel samtidigt som spotpriset på sikt förväntas öka något (Svenskenergi, 2016).

För att undersöka hur ersättningen från försäljning av solel kan variera antogs fyra olika scenarion. I scenario 1 antogs spotpriset ligga på dagens nivå samtidigt som ingen skattereduktion erhöles vid försäljning av överskottsel. I scenario 2 antogs spotpriset ligga på dagens nivå samtidigt som man erhöles skattereduktion vid försäljning av överskottsel. I scenario 3 antogs att spotpriset låg 15 öre över dagens spotpris samtidigt som ingen skattereduktion erhöles vid försäljning av överskottsel. I scenario 4 antogs att spotpriset ligger 15 öre över dagens nivå samtidigt som man erhöles skattereduktion vid försäljning av överskottsel.

### E - 2.3 Lagringskostnad

Utifrån den verkliga lagringspotentialen (för mer information, se bilaga I) kunde lagringskostnad per kWh beräknas genom ekvation E-1.

$$\text{Lagringskostnad} = \frac{\text{Batterikostnad} \times \text{Batteristorlek}}{\text{Verklig lagring} \times \text{Batteriets livslängd}} \quad \text{Ekvation E-1}$$

Skillnad mellan nätpriset på el och intäkt vid försäljning av solel beräknades i ekvation 2.

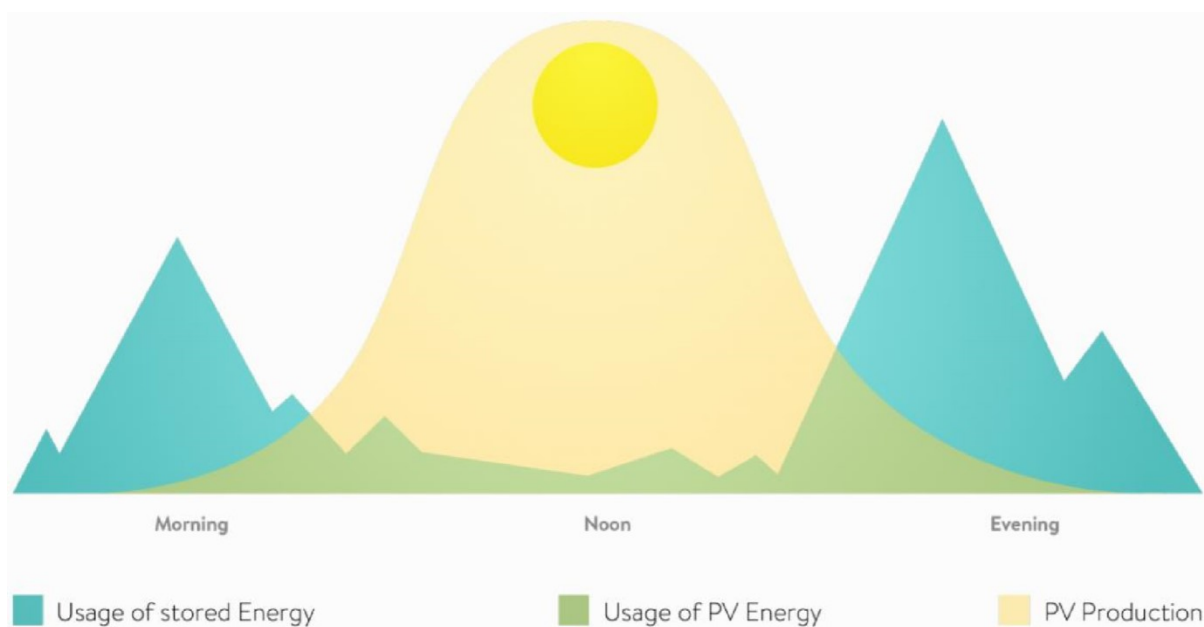
$$\text{Mellanskillnad} = \text{Elpris elnät} - \text{Försäljningspris av solel} \quad \text{Ekvation E-2}$$

Det är ekonomiskt lönsamt med ett batterilager då ekvation E-1 är strikt mindre än ekvation E-2.

### E - 2.4 Utnyttjande av prisdifferenser

Genom användning av batterilager kan man utnyttja prisdifferenser av spotpriset under dygnet. Spotpriset på el sätts på elbörsen Nordpol. Spotpriset styrs av utbud och efterfrågan vilket gör att elpriset ökar när efterfrågan är stor, normalt under morgon och eftermiddag/kväll (Elspot, 2016).

För att utnyttja prisdifferensen av spotpriset lagras solel under dagen då elpriset och elförbrukningen är lägre för att sedan använda den lagrade solenergin under eftermiddag/kväll när elpriset är högre samtidigt som man då har en högre elförbrukning. Detta illustreras väl i figur E-1.



*Figur E-1.* Det finns en stor lagringspotential under dagen då solpanelen producerar som mest el samtidigt som energiförbrukningen är låg hos de svenska hushållen under dagen (SonnenBatterie, 2016).

För att undersöka möjligheterna för utnyttjande av prisdifferenser undersöktes dygnsvis förskolans medelförbrukning av el, spotprisvariation samt solpanelernas elproduktion.

## E - 3. Resultat

### E - 3.1 Stickprov för batteripris

I tabell E-2 visas resultatet av marknadsundersökningen för kostnad av LiFePO4 batterier.

Tabell E-2. *Resultat av marknadsundersökning för pris på LiFePO4 batterier.*

Batteri 1, kr/kWh <sup>1</sup>	6944
Batteri 2, kr/kWh <sup>2</sup>	8691
Batteri 3, kr/kWh <sup>3</sup>	3762
Batteri 4, kr/kWh <sup>4</sup>	6418
Batteri 5, kr/kWh <sup>5</sup>	8085

<sup>1</sup> Batteriexpressen, 2016a

<sup>2</sup> Batteriexpressen, 2016b

<sup>3</sup> EV-Power, 2016

<sup>4</sup> Bioenno depot, 2016)

<sup>5</sup> Sun store, 2016

**E - 3.2 Försäljning av solel**

I tabell E-3 visas möjlig ersättning från elbolag vid försäljning av överskottsel beroende på skattereduktion samt spotpris

Tabell E-3. *Antagande och intäkter för flera scenarier vid försäljning av överskottsel producerad av solpanelerna.*

Försäljning av solel	Scenario 1, öre/kWh	Scenario 2, öre/kWh	Scenario 3, öre/kWh	Scenario 4, öre/kWh
Spotpris	30	30	45	45
Elcertifikat	15	15	15	15
Ersättningseffekt	5	5	5	5
Skattereduktion	0	60	0	60
Tot. intäckt	50	110	65	125

Almtuna förskola hade 2015 en total elförbrukning på 75 826 kWh. Under samma period fakturerades man elräkningar på ett belopp av totalt 89 504 kr vilket ger en medelkostnad på 118 öre per kWh. Skillnad mellan inköpspris av el från elnätet och försäljningspris av solel visas i tabell E-4.

Tabell E-4. *Intäkt från försäljning av solel för scenario 1. Scenario 1 antogs vara det mest troliga scenariot för Skolfastigheter AB vid försäljning av solel. Elpris representerar det pris i öre per kWh som Skolfastigheter AB betalar till nätbolag vid köp av el. Mellanskillnad är skillnaden mellan elpriset och försäljningspriset av solel i öre per kWh.*

Intäkt sälja solel	65
Elpris 1	118
Mellanskillnad 2	-53

**E - 3.3 Lagringskostnad**

Den uppskattade lagringskostnaden år 2016 för valt litiumjärnfosfatbatteri visas i tabell E-5. I tabell E-6 visas den uppskattade kostanden om batterilagret installeras år 2020.

Tabell E-5. *Den uppskattade lagringskostnaden för ett Litiumjärnfosfat batteri som antas ha en livslängd på 19 år och en batterikostnad per kWh på 5950 kr, år 2016.*

Storlek batteri, kWh	Lagringspotential, kWh/år	Lagringskostnad, kr/kWh
1	75	4,18
2	136	4,38
4	245	4,86
6	345	5,17
8	439	5,42
10	526	5,66

Tabell E-6. Den uppskattade lagringskostnaden för ett Litiumjärnfosfat batterilager som installeras år 2020. Batteriet antas ha en livslängd på 19 år och en batterikostnad per kWh på 3740 kr, år 2020.

Storlek batteri, kWh	Lagringspotential, kWh/år	Lagringskostnad, kr/kWh
1	75	2,62
2	136	2,89
4	245	3,21
6	345	3,42
8	439	3,59
10	526	3,74

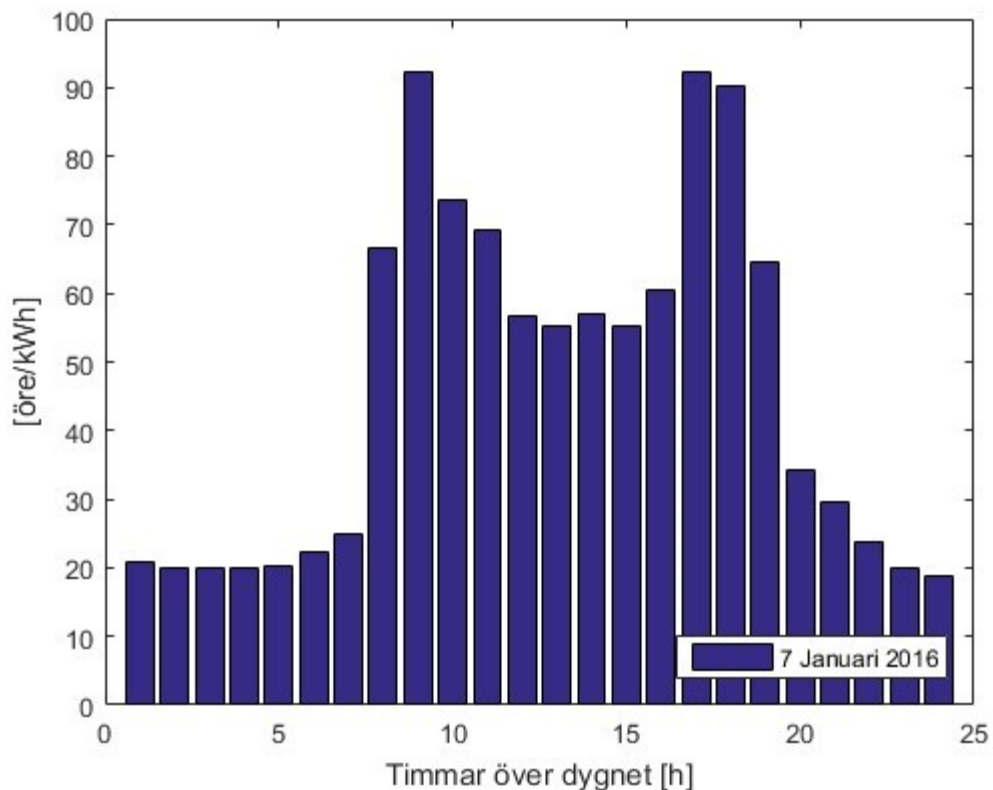
I tabell E-7 framgår att den uppskattade total investeringskostnad för ett 4,12 kWh stort batteri som har en livslängd på 19 år är 24 514 kr. Lagringskostnaden under denna period är 4,86 kr per kWh. Enligt ekvation E-1 behöver framtida batteripriser sjunka till en kostnadsnivå på ca 700 kr per kWh för att lagringskostanden ska vara lägre än 53 öre per kWh.

Tabell E-7. Den uppskattade total investeringskostnad för ett 4,12 kWh stort batteri som har en livslängd på 19 år. Den uppskattade lagringskostnad redovisas som kr per kWh.

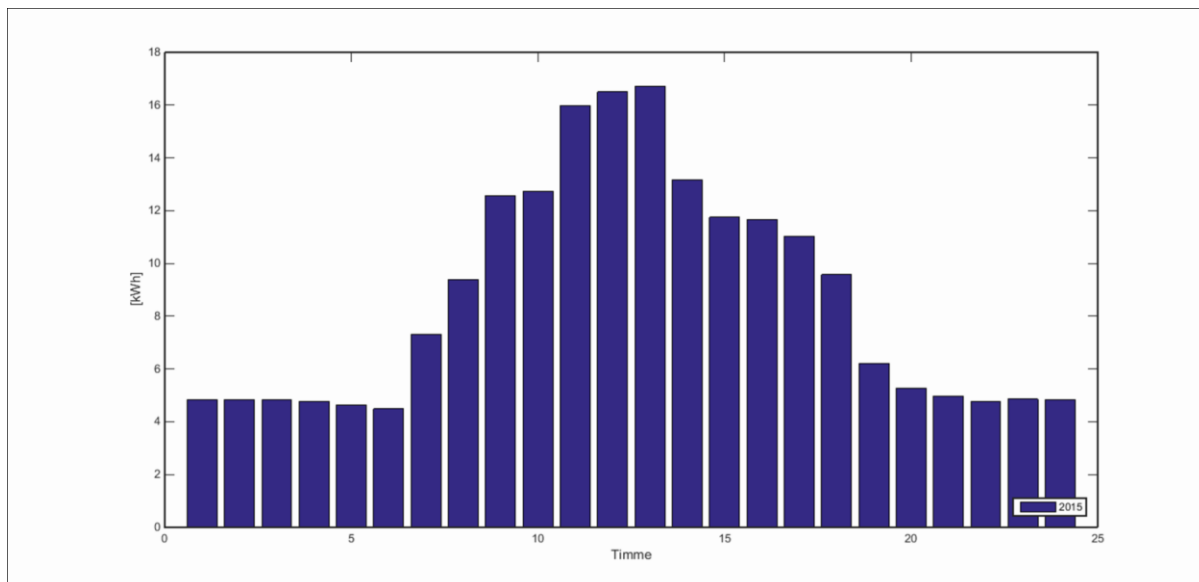
Storlek batteri, kWh	4,12
Livslängd, år	19
Investeringskostnad, kr	24 514
Lagringskostnad, kr/kWh	4,86
Mellanskillnad, kr/kWh	0,53

### E-3.4 Utnyttjande av prisdifferenser

I figur E-2 visas hur spotpriset varierar under dygnet den 7:e januari 2016. I figur E-3 visas hur Almtuna förskolas genomsnittliga energiförbrukning år 2015 varierar över dygnet. I figur E-4 redogörs solpanelernas genomsnittliga produktion per timme under en solig dag.

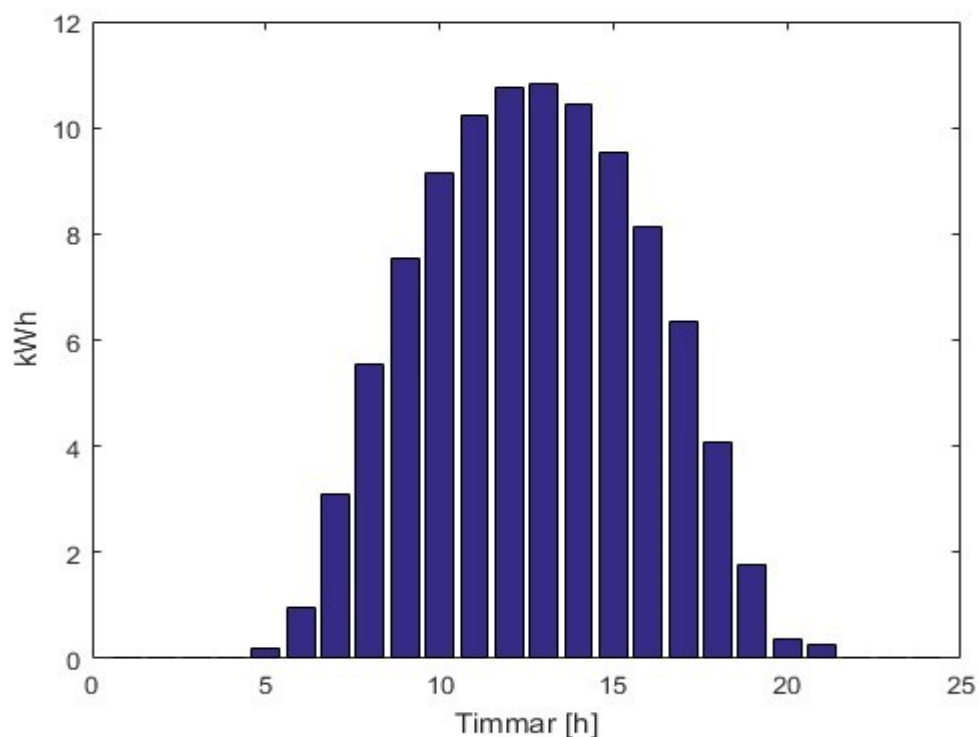


Figur E-2. Spotpriset på Nordpol under torsdagen den 7 januari 2016 (Vattenfall, 2016).



Figur E-3. Den genomsnittliga energiförbrukningen per timme på Almtuna förskola under år 2015 framtaget genom beräkningar i Matlab (för mer information, se bilaga F).





Figur E-4. Solpanelernas produktion per timme under en av årets soligaste dagar utifrån simuleringar i PVsyst (för mer information, se bilaga D).

## E - 4. Diskussion

Den uppskattade lagringskostnaden för överskottselen på Almtuna förskola blev 4,86 kr per lagrad kWh. Detta är något högre än den förväntade lagringskostnaden, som ligger på 2-3,33 kr per lagrad kWh då ett litiumjärnfosfat batteri används som energilagring. Den höga lagringskostnad på Almtuna förskola kan förklaras med att den höga energiförbrukningen på förskolan under dagen leder till att relativt lite el från solpanelerna kan lagras i batteriet. Detta innebär att batteriets investeringskostnad slås ut på färre lagrade kWh, vilket i sin tur leder till en högre lagringskostnad per kWh. Hade batteriet istället installerats i ett hushåll där energiförbrukningen är lägre under dagen, skulle en större mängd el från solpanelerna kunna lagras i batteriet. Detta hade gjort att lagringkostanden hade minskat.

Den genomförda marknadsundersökning för priset på LiFePO<sub>4</sub> visar att de batteripriser som antogs är aktuella. Inom de närmsta 5 åren får det ses som osannolikt att batteripriset kommer sjunka till en kostnadsnivå där det blir ekonomiskt lönsamt med batterilager på Almtuna förskola utifrån vald dimensionering. Detta då batterikostnaden behöver sjunka till 700 kr per kWh samtidigt som prognoser förutser en batterikostnad på 3740 kr per kWh år 2020.

Batteripriset är inte det enda som påverkar lagringkostanden. Faktorer som skulle kunna leda till minskad lagringskostnad på Almtuna förskola är större andel solproducerad el, minskning av fastighetens energiförbrukning samt teknikutvecklingen som leder till ökad livslängd för batteriet.

Då energilagring är en framväxande marknad finns det många företag i startgrupparna som vill nå ut med sina lösningar. Även då de flesta riktar sig mot hushåll kan det finnas intresse att undersöka sina produkter på en skola/arbetsplats. Detta då förbrukningen har ett annat mönster än hushållen. Skolfastigheter AB skulle kunna undersöka möjligheten med ett samarbete med sådant företag.

En investering i ett batterilager på Almtuna förskola kan ses som en relativt liten investering för Skolfastigheter AB då man har genomfört stora investeringar för ett hållbart energisystem på andra fastigheter som man äger. Med installation av ett energilagring visar Skolfastigheter AB att man ligger i framkant gällande övergång till ett hållbart energisystem.

## E - 5. Slutsats

Enligt resultaten i denna delrapport gör dagens batteripriser att lagringskostnaden för överskottselen ej är ekonomiskt försvarbar. Den uppskattade lagringskostnaden för överskottselen på Almtuna förskola blev 4,86 kr per lagrad kWh. Med vald dimensionering så behöver batteripriset sjunka till 700 kr per kWh för att det ska bli ekonomiskt lönsamt med ett energilager på Almtuna förskola. Prognoser förutser en batterikostnad på ca 3700 kr per kWh år 2020. Det är därför mer ekonomiskt lönsamt att sälja överskottselen till nätbolag än att installera ett energilager på Almtuna förskola. Förskolans höga energiförbrukning under förmiddag/dag för veckodagarna leder till låg lagringspotential och därmed en hög lagringskostnad per kWh. Detta innebär att endast små mängder el kan lagras till att utnyttja spotprisvariation under dygnet alt. minska toppeffekter.

## E-6. Referenser

- Batteriexpressen. 2016a. URL: [http://batteriexpressen.nordicshops.com/product.html/lithium-ion-batterilifepo412v/90ah?utm\\_source=pricerunner&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=pricerunner](http://batteriexpressen.nordicshops.com/product.html/lithium-ion-batterilifepo412v/90ah?utm_source=pricerunner&utm_medium=cpc&utm_campaign=pricerunner) [2016-05-07].
- Batteriexpressen. 2016b. URL: <http://batteriexpressen.nordicshops.com/product.html/lithium-ion-batterilifepo4128v/300ah-2> [2016-05-07].
- Bioenno depot. 2016. URL: <http://bioennodepot.com/lithium-iron-phosphate-lifepo4-batteries/lifepo4-12vbatteries/bioenno-power-12v-50ah-lfp-battery-abs-blf-1250ws.html> [2016-05-07].
- Bussar C., Stöcker P., Cai Z., Moraes Jr L., Magnor D., Wiernes P., Bracht A., Moser A. & Sauer D. (2016). Large-scale integration of renewable energies and impact on storage demand in a European renewable power system of 2050. Institute for Power Generation and Storage Systems, E.ON ERC, RWTH-Aachen University, Germany.
- Elsport. (2016). *Dagens spotpris*. URL: <https://elspot.nu/> [2016-05-11].
- EV-Power. 2016. URL: <http://www.ev-power.eu/LiFeYPO4-batteries-12V-1-1/Lithium-Battery-LiFePO412V-20Ah.html> [2016-05-07].
- Mats Karlström; V.P Sales and Marketing Ferroamp. 2016. Intervju 3 maj.
- Larsson Ö. & Ståhl B. (2012). *Lösningar på lager*. VINNOVA Analys 2. ISSN: 1651-355X.
- Miljö- och energidepartementet. (2015). *Fakta-PM Investeringar för klimatet i BP16 inklusive VÅP15*. Stockholm: Regeringskansliet.
- Nordling A., Englund R., Hembjer A. & Mannberg A. (2015). *Energilagring, Teknik för lagring av el*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Sverige. ISBN: 978-91-7082-901-7.
- Skattemyndigheten. (2016). *Skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el*. URL: <https://www.skatteverket.se/privat/fastigheterbostad/mikroproduktionavfornybarel/skattereduktionformikroproduktionavfornybarel.4.12815e4f14a62bc048f4220.html> [2016-05-02].
- Svenskenergi. (2016). *Spotprisets utveckling*. URL: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elmarknaden/Spotprisetsutveckling/> [2016-04-21].
- SonnenBatterie. (2016). *The SonnenBatterie*. URL: <https://www.sonnenbatterie.de/en/sonnenbatterie> [2016-0506].
- Sun store. (2016). URL: <http://www.sunstore.co.uk/PowerXtreme-LithiumIon-125ah-battery.html> [2016-05-07].
- Vattenfall. (2016). *Timpris på elbörsen*. URL: <https://www.vattenfall.se/elavtal/rorligt-elpris/timpris-pa-elborsen/> [2016-05-05].

## Bilaga F - Matlabkoder

2016-05-20

### F - 1. Batterilagringpotential

Denna kod tar fram lagringpotentialen samt information om hur och när batteriet skulle lagra solel.

```
clear
all clc

%Filen som hämtas innehåller all solproduktion och förbrukningsdata för
%fastigheten. Datan är uppdelad i vektorer år för år mellan 2010 till
%2015, där alla värden angivits per timme.
load('Data_TestLAMPOR.mat')

%Producerad el, solcellsvektorn
E_G=E_Grid_JA_Centro_39_3x13;
%här väljer man elförbruknings vektor, multiplieras med faktor 0.001
för
%att få förbrukning i kWh.
ELFB=EF_NyaLamp_UtanVentHelg*0.001;
%Multiplier för vektorlängder (när vi använder mer än ett år)
GGR=1;

%upprepar vektorn E_G, kolonvis, radvis. Få sama längd på data
vektorer.
SolEl=repmat(E_G,GGR,1);
%Producerade solelen multipliceras för att motsvara [kWh]
ProdEl=SolEl.*0.001;
%Utslagen som blir positiva motsvarar tillfällena där lagring av el är
% möjlig
LagringsPot=ProdEl-ELFB;

%Här urskiljer vi alla negativa nummer i LagringsPot vektorn
negativ=find(LagringsPot<0);
%De negativa talen sätts till noll
LagringsPot(negativ)=0;
%Det skapas en vektor L som enbart består av laddpotential tillfällena
L = LagringsPot(LagringsPot~=0);

%medelvärdet på uppladnings storlek [kWh]
u_L=mean(L)
%standardavvikelse runt medelvärdet
st_L=std(L)
```

## Bilaga F- Matlabkoder

```
%totala lagringspotentialen
ADTot_LagringPot=sum(L)

%Beräknar tiden mellan uppladningar.
q=find(LagringsPot'
==0); a=diff(q);
b=find([a inf]>1);
%Längden av en period utan laddning
Ac=diff([0 b]);
%ändpunkter av sekvens
d=cumsum(Ac);

%Beräkning av medelvärde för tomgångs
tider. u_c=mean(Ac) %standardavvikelsen
st_c=std(Ac)

%Beräkna hur stor andel av solproduktionen som är överskott.
totalproduktion=sum(ProdEl);

lagringsprocent=ADTot_LagringPot/totalproduktion*100;

%Denna graf ger oss hur förbrukning, produktion av solel och
%lagringspotential förhåller sig till
varandra. t=1:1:length(ELFB); figure
plot(t,ELFB,'b',t,ProdEl,'g',t,LagringsPot
,'k') xlabel('Simulerat år i Timmar (h)');
ylabel('kWh');
legend('Elförbrukning','Producerad
solel','Lagringspotential','Location','northe
ast') grid on

%Denna graf visar hur lagringspotentialen är fördelad över veckorna
%maj-juni
figure
bar(t,LagringsPot,'k')
%Vi tittar på maj-juni månad för att grafiskt se variation och se
%mönster
xlim([2916
4320])
%title('Elförbrukning - Prouktion -
Överskott'); xlabel('Maj-Juni i Timmar
(h)'); ylabel('kWh');
legend('Lagringspotential','Location','northe
ast') grid off
```

## F - 2. Verklig lagring av elektricitet beroende på batteriets dimensioner

Koden beräknar verklig lagring beroende på batteriets storlek och antagandet att batteriet laddas ur så fort det är ett underskott av solproducerad el.

```

clear
all
clc

%Filen som hämtas innehåller all solproduktion och förbrukningsdata för
%fastigheten. Datan är uppdelad i vektorer år för år mellan 2010 till
%2015, där alla värden angivits per timme.
load('Data_TestLAMPOR.mat')

%Producerad el, solcellsvektorn
E_G=E_Grid_JA_Centro_39_3x13;
%här väljer man elförbruknings vektor, multiplieras med energi
effekterings
%faktorn för första kvartalet 2016.
ELFB=EF_NyaLamp_UtanVentHelg*0.001;
%Multiplier för vektorlängder (när vi använder mer än ett år)
GGR=1;

%Batteristorlek i [kWh] medeluppladdning plus standardavvikelse
maxcap = 2.19+1.52;
%Verkningsgrad för
lagringsanläggning nth = 0.90;

%upprepar vektorn E_G, kolonvis, radvis. Få sama längd på data
vektorer.
Solel=repmat(E_G,GGR,1);
%Gör solelsdatan till rätt enhet, från [Wh] till [kWh]
ProdEl=Solel.*(0.001);
%Utslagen som blir positiva motsvarar tillfällena där lagring av el är
% möjlig
LagringsPot=ProdEl-ELFB;

%Här urskiljer vi alla negativa nummer i LagringsPot vektorn
negativ=find(LagringsPot<0);
%De negativa talen sätts till noll
LagringsPot(negativ)=0;

%Nedan simulerar vi hur ett batteri av tidigare vald storlek laddas upp
%och laddas ur.
%Batteriet är tomt i början
batteri = 0;
%Den totala lagrade energin är noll vid start
totallagring = 0;
%Vi skapar en tom vektor med samma längd som LagringsPot vektorn.

```

## Bilaga F- Matlabkoder

```
y=zeros (length(LagringsPot),1)
; for i =
1:length(LagringsPot)
    %här går det ingen producerad solet till
batteriet    if LagringsPot(i) == 0
        %om batteriet innehåller
energi        if batteri > 0
            %Batteriets energi aderas till totala/verkliga lagringen
totallagring = totallagring + batteri;
            %här sparar vi varje lyckad uppladning på in räta plats i
noll
            %vektorn
y(i)=batteri;
end

        batteri = 0; %batteriet töms på energi
        % om den producerade solelen plus batteriets energi är mindre eller
        % lika med batterikapaciteten
elseif batteri + LagringsPot(i) <= maxcap
batteri = batteri + LagringsPot(i);
        % om den producerade solelen plus batteriets energi
överstiger batterikapaciteten    elseif batteri +
LagringsPot(i) > maxcap            batteri = maxcap;    end
end

%vi får finallagringen över ett år
finallagring = (totallagring*nth)/GGR
%teoretiska max lagringen
teori_maxpot =
sum(LagringsPot)/GGR
%förluster som övergår till värme vid regulator och upp och urladdning
spill_varme = (totallagring-(totallagring*nth))/GGR
%Den mängd energi som inte kan lagras i batteriet då det är fullladdat
salja = teori_maxpot-finallagring-spill_varme

%antal cykler
%negativ=find(y<0); %Här urskiljer vi alla negativa nummer i LagringsPot
vektorn
%y(negativ)=0;
y_utannollor =
y(y~=0);
antal_cykler = length(y_utannollor)/GGR

%Hur stora är uppladningarna
u_Y=mean(y_utannollor);
% s=sqrt((sum(c-u)^2)/length(c));
st=std(y_utannollor); %standardavvikelse

x2=1:length(SolEl);
bar(x2,y)
```

```
%xlim([2916 4320])
xlabel('Timmars [h]')
ylabel('kWh')
```

### F - 3. Ekonomiska beräkningar för solceller

Koden beräknar när en viss solcellsanläggning återbetalar sig.

```
clc load('Data_Test98-
2011.mat')

E_G=E_Grid_JA_Centro_39_3x13;%här väljer man solproduktions vektorn
ELFB=elforbrukutanventS.*0.001; %här väljer man elförbruknings vektorn
i kWh

%Upprepar vektorn kolonvis, upprepar vektorn radvis
SolEl=repmat(E_G,1,1);
ProdEl=SolEl.*0.001; % Solelproduktionen i kWh

% Elproduktionen som inte utnyttjas av förskolan och som därmed kan
säljas SaljPot=ProdEl-ELFB;

%Här urskiljer vi alla negativa nummer i SaljPot vektorn
negativ=find(SaljPot<0);
SaljPot(negativ)=0;

t=1:1:length(ELF
B); subplot
(3,1,1);
plot(t,SaljPot)
title('Solel överskott - Sälj
potential'); xlabel('Timmars');
ylabel('kWh'); subplot (3,1,2);
plot(t,ELFB)
title('Almtuna förskolas
elörbrukning'); xlabel('Timmars');
ylabel('kWh'); subplot (3,1,3);
plot(t,ProdEl)
title('Elproduktion från
solcellerna'); xlabel('Ett år i
timmars'); ylabel('kWh');

% Totala el årsproduktionen från solcellsmodulerna i kWh
totalproduktion=sum(ProdEl);

% Totala el årsförbrukningen på Almtuna förskola
totalforbrukning=sum(ELFB);

% Andelen elektricitet som inte används av huset som kan säljas till
nätet totalsalj= sum(SaljPot);

% 1.18 är elpriset per kWh och 0.65 är intäckterna per kWh för
% elförsäljningen från solcellerna
Intäkter=30*((ProdEl-SaljPot)*1.18)+(0.5*SaljPot);
```

## Bilaga F- Matlabkoder

```
X=39; % Antal solcellsmoduler
% Totalkostanden för solcellsanläggningen med växelriktare byte
Totkostnadsys=((9.61+(2*3.1))*260)*X
*1.3; kvot=Totkostnadsys/sum(Vinst);
aterbaring=-1; j=1; while aterbaring<0
tot=sum(Vinst(1:j)); aterbaring=tot-
Totkostnadsys;
    % Solcellsanläggningens
återbetalningstid timmar=j;
j=j+1;
end
```

### F - 4. Graf för ekonomiska beräkningar för solceller

Koden skapar graf för återbetalningstid av solcellsanläggningar

```
% Vektor med antal solcellsmoduler
vekmoduler=[18,21,24,30,39,42,78]
%Vektor med återbetalningstiden för respektive
solcellsmodul
vekaterbetalningstid=[15.06,15.15,15.31,15.57,14.98,15.58,2
1.42] tickVectorX=[0:6:140]; %tickVectorX=[0:6:150];
tickVectorY=[0:2:26]

plot(vekmoduler,vekaterbetalningstid,
'-o') grid on;
set(gca,'XTick',tickVectorX);
set(gca,'YTick',tickVectorY);
title('Återbetalningstiden för olika antal
moduler'); xlabel('Antal moduler');
ylabel('År');
```



## Bilaga G- Förslagna åtgärder för att spara energi

Oskar Ageborg, August Forslund, Anna Maria Albért  
2016-06-21

### G - 1. Inledning

#### G - 1.1 Almtuna förskola

Byggnaden har i dagsläget 2-glasfönster (Östlund, 2016) och värms upp med fjärrvärme. Förskolan har en fast månadsavgift för fjärrvärmen, medan elkostnaden beror på elförbrukningen. Almtuna förskola har FTXventilation med roterande värmeväxlare. F står för frånluft, T för tilluft och X för värmeväxling. I ett sådant system är till- och frånluften skilda åt i olika rör. Den varma frånluften värmer upp en rotor bestående av veckade aluminiumprofiler. Aluminiumet värms upp och värmer i sin tur upp tilluften. Roterande växlare har ofta lite högre verkningsgrad än alternativet plattvärmväxlare och behöver inte frostas av (Energimyndigheten, 2014). Systemet har två fläktar, en F och en T, dessa försörjer hela byggnaden, alla rum utom köket är del av återledningen, från köket går luften rakt ut. Enligt egna uppmätta siffror med hjälp av Ebm papst drar T-fläkten 3,48 kW vid full effekt och F-fläkten drar 2,00 kW. Trycket på sugsidan för T är 460 pascal och 130 pascal vid trycksidan. För F är motsvarande siffror 360 och 50 pascal. Ventilationen installerades 1990 och kontrolleras och rengörs minst en gång per år, mer om det är något problem. Drifttiderna är mellan 06.00 och 18.00, däremellan stängs ventilationen av (Funkis, 2015). Förskolan är ansluten till ett fjärrvärmenätverk. Fjärrvärmen värmer upp fastigheten genom golvvärme. Det finns nuvarande ingen termostat för att reglera innetemperaturen utan måste ställas in manuellt av en tekniker. Ett system som effektiviserar fjärrvärmeanvändning skulle passa.

På Almtuna förskola finns det 8 torkskåp där torkskåpen är fördelade jämt över Iors och Lötteslandets avdelning. Torkskåpen är modellen Cylinda TS 70 från 2004. Torkskåpets märkeffekt är 1500 W. På förskolan kör de torkskåpen på ett år ungefär 2-3 timmar per dag under vinterhalvåret, vilket motsvara att de kör torkskåpen 456 timmar per år.

#### G - 1.2 El och värmekonsumtion i byggnader

El och värmekonsumtion i byggnader ökar i dagsläget även om de inte står för lika stor del som de gör i industribyggnader. Beroende på ålder på byggnaden varierar el och värmekonsumtionen. Exempelvis gjordes en studie på 6 skolor i östra Finland som undersöktes el och värmekonsumtionen (Raaticaninen m.fl., 2016). Skolorna var av varierande storlek och ålder. På de två äldsta skolorna hade renoveringar gjorts. Studien visade att uppvärmningskostnaderna var betydligt mindre för de nyare skolorna dock hade elförbrukningen inte minskat. Anledningen till detta ansågs bero på att ventilationen stod på dag och natt. Ventilationen stod på för att avlägsna fukt från byggnadens material och möbler då transmissionsförlusterna är små (Raaticaninen m.fl., 2016). Denna trend kan även ses i andra studier. I en annan studie i Finland undersöktes energikonsumtionen i olika typer av skolor (förskolor, grundskolor och universitet) som också visade att uppvärmningen minskade i nyare byggnader men att elförbrukningen förblir densamma eller också har en aning högre elförbrukning (Sekki m.fl., 2014).

#### G - 1.3 Styrsystem

Den senaste trenden inom energieffektiviseringar för privata villor pekar på "smarta" styrsystem som kan optimera husets energianvändning för att vara så effektiv som möjligt. Systemen fungerar så att en central styrmodul installeras som kan styra husets värmesystem eller/och elektronik. Olika produkter har olika typer av system för hur en eventuell effektivisering ska ske. Vissa produkter inriktar sig på att visa fastighetsägaren vad i hemmet det är som drar mer energi så att de sedan själv ska kunna lokalisera problemområden. Andra produkter fokuserar på fjärrstyrning, där man ska kunna

## Bilaga G- Förslagna åtgärder för att spara energi

spara energi på att kunna styra elektronik och värmesystem från till exempel mobilen. Den sista vanliga inriktningen är att på ett automatiskt sätt kunna optimera husets värmesystem så att elförbrukningen blir mer effektiv (Ngenic 2016). Då denna rapport fokuserar på en förskoleverksamhet så antas att ett automatiskt system är mest passande då personalen inte ska behöva göra en aktiv insats på arbetstid.

Ett "smart" styrsystem ska kunna energieffektivisera en fastighet genom att optimera det redan befintliga systemet och använda den så energisnålt som möjligt utan att det påverkar komfort. Systemen kan jobba med bland annat husets dynamik, solljus, elpriser och värmesystemet för att sedan koppla upp allt till en databas där regleringen sker. Om flera fastigheter regleras samtidigt kan ett samspel ske med energiproducenten för att avlasta den tid där det är som högst tryck på nätet.

### G - 1.4 Syfte

Denna bilaga redovisar vilka åtgärder projektet har undersökt för att skapa en mer energieffektiv byggnad, samt resultatet av dessa. En utförlig redovisning av Almtuna förskolans energiflöden och elförbrukning går att läsa i bilaga C.

## G - 2. Metod och material

Utredningen om vilka energieffektiviseringsåtgärder som skulle kunna göras på skolan skedde dels genom litteraturstudier men också genom simulering i programmet Simulink. De som undersöktes var:

- Återkoppling på kökets luftflöden
- Utbyte av torkskåp till energisnålare modell
- Byte av fläktar till energisnålare
- Fönsterbyte till fönster med bättre U-värde
- Förbättrad isolering
- "Smarta" styrsystem

Information om Almtuna förskola har fåtts från Skolfastigheter AB, så som ritningar, flödesscheman m.m. Förskolan har även besökts för att samla information om vitvaror och intervjuva personalen om uppskattade drifttider.

## G - 3. Resultat

### G - 3.1 Ventilation

Vid installation av ventilation är det vanligt att köket inte tas med i återkopplingen, detta då kökets luft ofta innehåller mer partiklar och lukter som man inte vill ska spridas till resten av byggnaden. Det är därför inte ett alternativ att ändra på detta. Vad som kan göras är ett byte av fläktarna till energisnåla EC-fläktar (Andersson, 2016). Dessa brukar bidra till en minskad energianvändning på 25-30 % men kan uppgå till 50 % minskning (AIA, u.å.). Efter att med hjälp av EBM mätt aggregatkammaren, tryck före och efter fläktarna samt effekt togs ett förslag på nya fläktar fram. Både som T-fläkt och F-fläkt togs *MXPC45RD2040 Låg* fram. Den har märkeffekt 2,73 kW och kostar 30 068,00 kr per fläkt. Däremot är kostanden för installation okänd (Lennström, 2016). Enligt kalkyleringar gjorda på deras hemsida drar fläktarna 1196 respektive 1706 Watt vid de uppmätta trycken. Vilket enligt simulering (se bilaga C) skulle minska ventilationens egen elförbrukning med 12 400 kWh vilket blir 47 %.

### G - 3.2 Utbyte av torkskåp till energisnålare modell

Energimyndigheten har utfört en undersökning på hur mycket Sveriges förskolor och fritids kan spara om de byter ut deras gamla torkskåp till moderna torkskåp med avfuktare eller inbyggd värmepump. Räkneexemplet baseras på 20 000 förskolor och fritids som torkar barnens kläder 200 gånger per år och varje förskola har 4 torkskåp (Energimyndigheten, 2014). De äldre torkskåpen har en märkeffekt på 1535 W och en torktid på 2 timmar och 10 minuter. Detta ger en total torktid på 433 timmar och 20 minuter.

Märkeffekten och totala torktiden motsvarar Almtuna förskola väl. Energimyndigheten har då estimerat energianvändningen till 630 kWh/år (Energimyndigheten, 2014). Det kan konstateras att de inte använt sig av ekvationen:

$$\text{Elförbrukning} = \text{Märkeffekt} \times \text{Drifttid} \qquad \text{Ekvation G-1}$$

eftersom elförbrukningen då skulle blivit 665 kWh men att det bör använt av liknande ekvation eftersom liknande värden erhöles.

De nya torkskåpen som undersöktes är följande. Torkskåpet med värmepump, Cylinda TS 190VP ECO, har märkeffekten 900 W, torktid på 2 timmar, elförbrukningen per år 227 kWh/år och kostar 17 195 kr och Torkskåpet med avfuktare, Knyser DS3C, har märkeffekten 475 W, torktid på 4 timmar, elförbrukningen per år 285 kWh/år och kostar 21 250 kr (Energimyndigheten, 2014).

Torkskåpet med värmepump har en lägre torktid, elförbrukning och kostar mindre men har högre märkeffekt/max effekt. Den momentana effekten är alltså högre för torkskåpet med värmepump och kan påverka elkostnaderna men eftersom potentialen för batterilagring undersöks i denna rapport antas att batterierna kan hjälpa till lite för att minska den momentana elförbrukningen under dagen och på grund av detta anses torkskåpet med värmepump bäst, då dessutom energibesparingarna blir större, torktiden är mindre och kostnaden för torkskåpet är mindre.

Energi och kostnadsbesparingarna på Almtuna förskola till torkskåp med värmepump visas i tabell G-1, vilket motsvarar 4,1 % av totala energianvändningen från elförbrukningen och kostnadsbesparingen är 4600 kr/år, se appendix G-8.1 för beräkning. Investeringen för att byta ut alla 8 torkskåp är 137 560 kr, vilket innebär att det skulle ta 30 år för att tjäna in investeringen, för beräkning se också appendix G-8.1.

Tabell G-1. *Energi och kostnadsbesparingen på bytet av torkskåp (Energimyndigheten, 2014).*

Åtgärd	Sparat, kWh/år	Sparat, kr
Byte av torkskåp	3 224	4600

### G - 3.3 "Smarta" styrsystem

Exempel på företag som erbjuder ett smart styrsystem:

- Ngenic ger ut produkten Ngenic Tune som beskrivs som en "smart" termostat (Ngenic, 2016). Ngenic tune tar hänsyn till solljus och innetemperatur och reglerar uppvärmningen så att den sker på ett energisnålt sätt. System kopplas även till en databas som reglerar uppvärmningen med hänsyn till elpriser. Tjänsten erbjuder även en mobil applikation där man kan styra innetemperaturen. För en förskola med golv-fjärrvärme har Ngenic tune potential att sänka fjärrvärmeförbrukningen med upp till 20 % enligt styrelseordförande Björn Berg (Berg, 2016). Produkten ligger i prisklassen 20005000 kr beroende på produkten köps med avtal med el/fjärrvärme leverantör. Ngenic fungerar både till värmepump och fjärrvärme.
- Kabona har produkten Ecopilot som kombinerar uppvärmning, kylsystem och ventilation (Kabona 2016). Kabona påstår att energiförbrukningen kan minska med 10-40 %. Ecopilot riktar sig främst till större fastigheter kostar 10 000 kr + eventuella installationskostnader.

## Bilaga G- Förslagna åtgärder för att spara energi

- Scypho håller på att utveckla produkten Personlig Värme (Scypho, 2016). Produkten ska optimera en villas värmesystem samt ta hänsyn till de bosattas dagliga rutiner. Produkten är fortfarande i utvecklingsfas men har givit värden för en energibesparing på 15-30 % för en villa.

### G - 3.4 Analys av elförbrukning

Vid en analys av förskolans elförbrukning visas tecken på att skolan använder sig av mer energi vissa tider än de behöver (se bilaga B). Det gick att se syntes mes stor sannolikhet är ventilationen påslagen varje helgdag när ingen befann sig i fastigheten. Även i juli då förskolan har stängt och det inte sker någon verksamhet i fastigheten syntes tecken på att ventilationen var igång under majoriteten av dagarna. Den ökade helgförbrukningen har skett under första kvartalet av 2016. Detta har ökat elförbrukningen med cirka 1500 kWh under denna tid som motsvarar cirka 2200 kr extra på elräkningen. 2015 stod ventilationen på 17 av 31 dagar utan att någon verksamhet skedde i fastigheten. Ventilationen står även på under jullovet. I tabell G-2 visas energi och kostnadsbesparingarna vid avstängningen av ventilationen.

Tabell G-2. Energi och kostnadsbesparingen när ventilationen stängs av i juli och under jullovet.

Åtgärd	Sparat, kWh/år	Sparat, kr
Ventilation avslagen i juli och under jullovet	1640	2362

### G - 3.5 Simulering av fjärrvärmens och ventilation

I simuleringsmodellen ändrades U-värdena för väggar, tak och fönster samt att ventilationens elförbrukning drogs ner 34 % enligt beräkningsexemplet som beskrevs i ”G-3.1 Ventilation”.

I tabell G-3 kan de nuvarande U-värdena samt de värden som används i simuleringen och tabell C4 visar de erhållna resultaten över fjärrvärmeminskningen.

Tabell G-3. U-värde för olika byggnadsdelar innan och efter isolering och för byte av fönster och dörrar (Boverket 2015).

Byggnadsdel	U-värde innan, Wm <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	U-värde efter, Wm <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
Väggar	0,2	0,18
Tak	0,15	0,13
Fönster	1,4	1,2
Dörrar	2	1,2

Tabell G-4. Fjärrvärmeminskningen från byte av fönster, dörrar, tilläggsisoleringen på väggar och tak och totala minskningen, för mer information om simuleringen se bilaga C.

Åtgärd	Fjärrvärmeminskning, kWh
Byte av fönster	2880
Byte av dörrar	2220
Tilläggsisolering väggar	2960
Tilläggsisolering tak	7340
Total minskning	15420

Transmissionsförlusterna innan och efter effektiviseringen kan ses i tabell G-5

Tabell G-5. Transmissionsförlusterna innan och efter extra isolering samt byte av fönster och dörrar gjorts, för mer information om simuleringen se bilaga C.

	Innan	Efter
Totala transmissionsförluster, kWh/år	45 720	34 080

Kostnaderna för byten av fönster, dörrar och tilläggsisoleringen har estimerats grovt.

Det är 72 fönster på förskolan och vid ett fönsterbyte skulle det med en mycket grov uppskattning kosta 180 000 kr (Kostnadsguiden, 2012).

Kostnaderna för att byta av dörrar har också estimerats där byte av en dörr kostar 2500 kr (Byggmax, 2016). Antal ytterdörrar som bytts är 11 stycken. Totala kostnaden är alltså 27500 kr.

Kostnaden för att tilläggsisolera uppskattades grovt till 126 kr/m<sup>2</sup> (Tryckisolering, 2016). Arean för väggarna och taket är 428 respektive 884 m<sup>2</sup>. Kostnaden för att tilläggsisolera väggarna och taket är då alltså 54 000 respektive 111 000 kr.

I tabell G-6 ses elförbrukningsminskningen och elkostnaderna vid bytet av fläktar

Tabell G-6. Sparad elförbrukning i kWh och elkostnader vid byte av fläktar, för mer information om simuleringen se bilaga C.

Åtgärd	Sparat, kWh/år	Sparat, kr
Byte av fläktar	12 400	17 400

#### G - 4.5 Summering av åtgärder på elförbrukningen

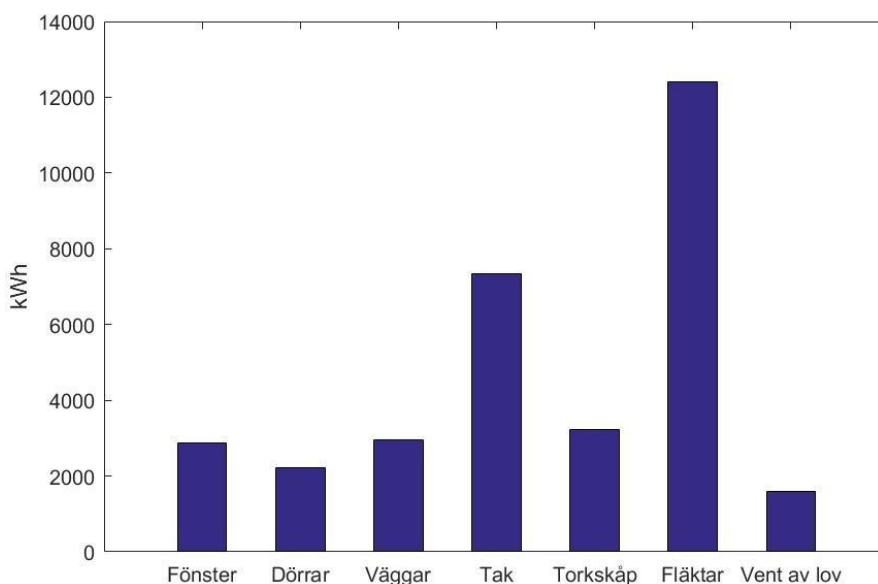
I figur G-1 visas en summering av alla åtgärder och deras energibesparing i kWh. Vid byte av fönster och dörrar samt tilläggsisolering av väggar och tak minskar behovet av tillförd värme via byggnadens värmesystem. Vid byte av torkskåp och fläktar samt avstängning av ventilation under lov minskar istället användningen av elektricitet.

Utifrån fjärrvärmekostnaderna och elektricitetskostnaderna beräknades besparingarna för respektive energieffektiviseringsåtgärd som visas i tabell G-7, där priset för fjärrvärme är 0,72 kr/kWh (Fortum, 2016) och priset för elektricitet är 1,44 kr/kWh (Vattenfall, 2015).

## Bilaga G- Förslagna åtgärder för att spara energi

Tabell G-7. *Kostnadsbesparing och återbetalningstid för respektive energieffektiviseringsåtgärd.*

Åtgärd	Sparat, kr	Återbetalningstid, år
Byte av torkskåp	4 600	30
Byte av fläktar	17 400	5,8
Ventilationen av under lov	2 362	0
Byte av dörrar	1 600	21
Byte av fönster	2100	60
Tilläggsisolering av väggar	2100	26
Tilläggsisolering av tak	5300	21



Figur G-1. Energibesparing i kWh för respektive energieffektiviseringsåtgärd.

### G - 5. Diskussion

Att byta torkskåp är inte ekonomiskt hållbart eftersom det skulle ta 30 år att tjäna in investeringen på 138 000 kr, se appendix G-8.1.

Då ventilationens tryck och elförbrukning var uppmätta är detta en säker siffra. Kalkylen av de nya fläktarnas effektvärden vid de uppmätta trycken gjordes på företagets Ebm papst hemsida och är därför inte lika säkra. Vad den totala investeringen blev är inte känt, men på grund av att elförbrukningen minskade med 12 400 kWh är byte av fläktar som denna studie förespråkar.

Svaren från ventilationen gjordes med många antaganden om aggregatets storlek och prestanda har gjorts. Det är även ett vinstdrivande företag som har gjort uträkningen med risk att de gjort antaganden till deras fördel. För att få en precis siffra och offert krävs ett besök på Almtuna förskola av kunnig personal från installationsföretag. På grund av dessa osäkerheter är detta inte en åtgärd som projektet föreslår.

Enligt simuleringen minskar fjärrvärmeförbrukningen 15420 kWh på ett år om byte av fönster och dörrar och tilläggsisolering av tak och väggar görs, vilket inte är så mycket i förhållande till utfört arbete.

Återbetalningstiderna är långa, dessutom har många grova uppskattningar gjorts på kostnaderna som ger en stor osäkerhet i återbetalningstiderna. Beräkningarna på återbetalningstiden har gjorts för att få en bild över vilken storleksordning tiden det handlar om och på så sätt potentiellt kunna se om det är lönsamma investeringar. Anledningen till att minskningen inte är större är på grund av att de fönstren de har på förskolan är relativt moderna och har ett u-värde som också är relativt lågt som gör att besparingarna är inte blir så stora.

Enligt litteraturstudierna från Finland som undersöktes (Raaticaninen m.fl., 2016), visades att fjärrvärmekostnaderna var mindre på nyare byggnader men att elförbrukningen förblev samma eller hade en aning ökande trend. Detta berodde till stor del på att det kräver en större ventilationsförbrukning då transmissionsförlusterna är små. I vårt fall kan liknande resultat förväntas då studierna undersökte förskolor och grundskolor och har liknande energiförbrukning på Almtuna förskola. Om fönster och dörrar bytts och tilläggsisolering görs så att fjärrvärmeförbrukningen minskar bör elförbrukning undersökas så att ventilationen är tillräcklig för att skapa en god miljö för barnen, personalen och huset.

Förskolan tyder på en energisparande potential genom ett "smart" styrsystem även om inte exakta siffror har beräknats. Fjärrvärmeförbrukningen kan sänkas med hjälp av en produkt som Ngenic som inte har relativt stor investeringskostnad. Förskolan får då också ökad komfort då personalen kan reglera inomhustemperaturen.

Användningen av ventilationssystemet skulle kunna effektiviseras av en "smart" styrning. Då ventilationen visar tendenser att vara påslagen på dagar utan aktivitet i fastigheten kan detta lätt åtgärdas med ett sådant system. Att investera i en produkt som Kabona skulle gynna detta system.

### G - 6. Slutsats

Om de undersökta effektiviseringsåtgärderna görs kan 35 500 kr sparas varje år. Men på grund av de långa återbetalningstiderna för byte av fönster, dörrar och torkskåp och tilläggsisolering av väggar och tak anser vi inte de är effektiviseringsåtgärder som bör göras. Att byta ventilationsfläktar och stänga av ventilationen under lov är något vi rekommenderar att göra då återbetalningstiden är kort.

### G - 7. Referenser

AIA. (u.å.). *Energieffektiva fläktar*.

[http://www.aia.se/Upload/DocumentManager/Produktbroschyr/EC\\_SEGB\\_61066.pdf](http://www.aia.se/Upload/DocumentManager/Produktbroschyr/EC_SEGB_61066.pdf) [2016-05-11].

Andersson Göran. Försäljningschef på ebmapst, 2016-04-26, personlig intervju.

Berg Björn. (2016). Styrelseordförande på Ngenic, 2016-05-12, personlig intervju.

Boverket. (2015). *Boverkets byggregler, Avsnitt 9 Energihushållning*.

<http://www.boverket.se/globalassets/vagledning/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-9> [2016-05-12].

Byggmax. (2016). *Byte av ytterdörr*. Bilaga G – Förslagna åtgärder för att spara energi. <https://www.byggmax.se/hantverkartj%C3%A4nster/byta-d%C3%B6rr/byte-av-ytterd%C3%B6rr-p80353> [2016-05-23].

Energimyndigheten. (2014). *FTX-aggregat hus med 130 m<sup>2</sup> boyta*.

<http://www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/ftx-aggregat/ftx-aggregat-hus-med-130-m-boyta/> [2016-05-11].

Energimyndigheten. (2014). *Torkskåp*. <https://www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/torkskap/> [2016-05-11].

Fortum. (2016). *Normalpris*. <http://www.fortum.com/countries/se/privat/fjarrvarme/priser-2016/normalpris/pages/default.aspx> [2016-05-25].

## Bilaga G- Förslagna åtgärder för att spara energi

Funkis. (2015). *Besiktningsprotokoll: Funktionskontroll av ventilationssystem*. Fastighetsbeteckning: 1:34, Uppsala.

Kabona. (2016). *Förbättra direktavkastningen och miljön*. <http://www.kabona.com/sv/om-ecopilot/varforecopilot/> [2016-05-13]

Kostnadsguiden. (2012). *Fönsterbyte, kostnad fakta och priser*. <http://kostnadsguiden.se/fonsterbytekostnad-fakta-och-priser/>

Lennström. (2016). 2016-04-26, personlig intervju.

Ngenic. (2016). <https://ngenic.se/> [2016-05-13].

Raatikainen M. Skön J.-P. Leiviskä K. och Kolehmainen M. (2016). Intelligent analysis of energy consumption in school buildings. *Applied Energy* 165, 416–429.

Scypho (2016). *Det här är personlig värme*. <https://www.scypho.com/sv/personlig-varme/> [2016-05-13].

Sekki T. Airaksinen M. och Saari A. (2014). Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. *Energy and Buildings* 87, 105–115.

Tryckisolering. (2016). *Riktpriser*. <http://www.tryckisolering.se/riktpriser-8204939> [2016-05-23].

Vattenfall. (2015). *Fakturahistorik*.

Östlund Micael. Teknisk förvaltare. 2016-04-12, personlig intervju.



## G - 8. Appendix

### G-8.1 Beräkning av energi och kostnadsbesparingen och investering på byte av torkskåpen på Almtuna förskola till torkskåp med värmepump

Energibesparingen på byte av torkskåpen på Almtuna förskola till torkskåp med värmepump ges av:

$$\text{Energibesparing} = (\text{Energianvändning}_{\text{innan}} - \text{Energianvändning}_{\text{efter}}) \times \text{antal bytta torkskåp} \quad \text{Ekvation G-2}$$

Med värdena för de olika torkskåpen fås energibesparingen till

$$\text{Energibesparing} = (630 - 227) \times 8 = 3224 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Den senaste beräknade årliga energianvändningen av vattenfall beräknades till 78 000 kWh (Vattenfall2016). Energibesparingen motsvarar då alltså 4,1 % av totala energianvändningen från elförbrukningen.

Energibesparingarna i kr per år ges av:

$$\text{Energibesparing i kr per år} = \text{Energibesparing} \times \text{Elkostnad} \quad \text{Ekvation G-3}$$

Den genomsnittliga elkostnaden beräknades i bilaga A till 1,44 kr/kWh, vilket ger kostnadsbesparingarna till:

$$\text{Energibesparing i kr per år} = 3224 \times 1,44 = 4600 \text{ kr per år}$$

Investeringen som behöver göras bestäms med ekvationen:

$$\text{Investering} = \text{Inköpspris av torkskåp} \times \text{Antal torkskåp}$$

$$\text{Investering} = 17\,195 \times 8 = 137\,560 \text{ kr}$$

För att se hur lång tid det tar att tjäna in investeringen delas investeringen med kostnadsbesparingen per år, alltså:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Investering}}{\text{Energibesparing i kr per år}} = \frac{137\,560}{4600} = 30 \text{ år}$$

Det innebär att det skulle ta 30 år att tjäna in investering.

## Bilaga H - Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Maria Dalheim, Dennis Holmlund  
2016-05-20

### H - 1. Inledning

Ekonomi är en viktig faktor för hur stor solcellsanläggning som bör installeras på Almtuna förskola. I delrapport "Solceller simulering" visades att solcellsanläggningen potentiellt kan byggas ut så att den producerar i samma nivå som förbrukningen för förskolan. Enligt förväntan visade resultaten från den simuleringen att elproduktionen var högre på sommaren men lägre på vintern, vilket är omvänt förhållande till elförbrukningen för Almtuna skolan (Bilaga B), vilket gör att även om en sådan anläggning kan producera motsvarande årsförbrukningen så kan inte all producerad elektricitet användas direkt av förskolan. En anläggning i storlek med det maxade scenariot skulle därav ge ett stort överskott på sommaren, respektive ett underskott på vintern (Bilaga D). Istället för att spilla överskottet som uppkommer under sommarhalvåret är en möjlig lösning att sälja överskott, vilket skulle leda till en bättre ekonomi för en större anläggning. Optimal storlek med avseende på ekonomin för anläggningen påverkas därav både av inköps och försäljningspriset för elektriciteten. Inköpspriset och försäljningspriset har antagits ligga på 1,18 kr respektive 0,65 kr (Bilaga E). Utöver själva storleken på anläggningen påverkas ekonomin för anläggningen även av priset för solcellsmodulerna, installation, effektgaranti, livslängd, växelriktare med möjlig tillhörande effektoptimerare samt övriga komponenter.

### H - 2. Metod

För att hitta en ekonomiskt optimal storlek på anläggningen och vilka tillverkare som bör användas, har beräkningar gjorts med hjälp av Matlab (The MathWorks Inc, 2016) och Excel (Microsoft Corp, 2016). Matlab är ett program där användaren kan koda egen kod för att göra egna beräkningar, förenklat är Matlab en avancerad miniräknare. Excels funktion är liknade den i Matlab, men är mer överskådlig. I Excel och Matlab har beräkningarna gjorts utifrån indata från ett antal simuleringar i PVsyst, kostnaderna för anläggningen beräknades i Excel och återbetalningstiden beräknades i Matlab.

För jämförelsen av solcellsmoduler valdes JA Solar, SunPower och Centrosolar. För att få en spridning på solcellsmodulerna har tillverkare från tre olika länder valts och både monokristallina och polykristallina solceller jämfördes. JA Solar är en kinesisk tillverkare, SunPower är en amerikansk tillverkare och Centrosolar är en tysk tillverkare. Både SunPower och JA Solar är monokristallina medan Centrosolar modulen är polykristallin. SolarEdge och Centrosolar valdes för jämförelsen av växelriktare. Dessa valdes för att avgöra den ekonomiska skillnaden mellan att använda kombinationen växelriktare och effektoptimerare samt att enbart använda växelriktare (Bilaga D).

För att hitta ekonomiskt optimum för anläggningen har först priset för olika solcellsmoduler, växelriktare och effektoptimerare beräknats per Watt. Enligt Kjell Bengtsson står installationskostnaden för mellan 20 till 30 % utöver kostnaden för solcellsmoduler och växelriktare (Bengtsson, 2016, personlig intervju). Installationskostnaden beräknades därför genom att multiplicera summan av solcellsmoduler och växelriktare med 0,3. Den högre procentsatsen har använts för att inkludera andra mindre kostnader som exempelvis kablar, se tabell H-2. Totalkostnaden för solcellsanläggningen inkluderade solcellsmoduler, växelriktare och installationskostnad. Totalkostnaden per Watt multiplicerades sedan med maxeffekten för anläggningen i Watt, alltså antalet moduler multiplicerat med maxeffekten för vardera modul för att få totalkostnaden för en specifik anläggning.

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

För att hitta vilken kombination av olika tillverkare av växelriktare, moduler och eventuella effektoptimerare som är det ekonomiskt mest fördelaktiga, valdes det att utgå från en anläggning bestående av 24 moduler med olika kombinationer av dessa, enligt tabell H-1.

Tabell H-1. *Solcellsmoduler och växelriktare i den ekonomiska jämförelsen.*

Anläggning	Solcellsmodul				Växelriktare		Effekt- optimerare
	Tillverkare	Modell	Solcellsteknik	Nominell toppeffekt, W	Tillverkare	Modell	Modell
A	SunPower	SPR-E20-327	Monokristallin	327	SolarEdge	350V SE6000	P405
B	CentroSolar	S250P60 Professional	Polykristallin	250	SolarEdge	350V SE5000	P300
C	JA Solar	JAM6(BK) - 60-260/SI	Monokristallin	260	SolarEdge	350V SE5000	P300
D	CentroSolar	S250P60 Professional	Polykristallin	250	CentroSolar	PS 5.5	
E	JA Solar	JAM6(BK) - 60-260/SI	Monokristallin	260	CentroSolar	PS 5.5	

Anläggningarnas totala investeringskostnad räknades sedan ut genom att ta totalkostnaden från tabell H-2 och multiplicera detta med antal Watt för hela anläggningen. Till investeringskostnaden adderades sedan kostnaden för byte av växelriktare för att få summan av alla kostnader över en 30 års period. Detta då i en analys gjord av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB på ett urval av nio solcellsmoduler, som finns på den kommersiella marknaden i Sverige, drogs slutsatsen att de moduler som testades har en livslängd på mer än 30 år. De tre moduler som jämfördes i simuleringarna fanns med i SP:s rapport (Kovacs, P 2015). Summan av alla kostnader över en 30 års period delas sedan med elpriset, 30 år och effektgarantin (EG), för att få fram hur många kWh som en anläggning behövde producera årligen för att gå plus minus noll (se tabell H-3, årsproduktion/effekt gar.), detta förutsatt att all producerad elektricitet kunde användas direkt och att det inte blev något överskott.

De olika anläggningarna (A-E) simulerades i PVsyst för att få fram timvisa produktionen under ett år (se tabell H-3, sim). Den beräknade årsproduktion som krävdes för att gå plus minus noll jämfördes sedan med den simulerade produktionen för anläggning och utifrån detta valdes den anläggning som hade det bästa resultatet (se tabell H-3, kvot). De tillverkare som hade bästa resultatet (alternativ E) användes sedan i kommande simuleringar och beräkningar.

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Tabell H-2. *Pris för de olika anläggningar A-E, kr/Watt (inkl moms).*

A	kr/W	B	kr/W	C	kr/W	D	kr/W	E	kr/W
SP-327 <sup>1</sup>	15,2	CS250 <sup>2</sup>	14,7	JA2603 <sup>3</sup>	9,96	CS250	12,8	JA260	9,96
SE-6000 <sup>4</sup>	2,31	SE-5000 <sup>5</sup>	2,89	SE-5000 <sup>5</sup>	2,78	CS-5500 <sup>6</sup>	3,65	CS-5500 <sup>6</sup>	3,51
P405 <sup>7</sup>	2,46	P300 <sup>8</sup>	2,55	P300 <sup>8</sup>	2,46	-	-	-	-
Summa <sup>9</sup>	20,0		18,2		15,2		16,5		13,5
Inst. <sup>10</sup>	6,00		6,04		4,56		5,51		4,04
Totalt	26,0		23,7		19,8		21,4		17,5

<sup>1</sup>. SunPower SPR-E20-327 (Euronom AB, 2013).

<sup>2</sup>. CentroSolar S250P60 Professional (Duschprodukter AB).

<sup>3</sup>. JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI (Solcellsproffsen AB, 2016).

<sup>4</sup>. SolarEdge 6kW SE6000.

<sup>5</sup>. SolarEdge 5kW SE5000 (Futura Energi AB).

<sup>6</sup>. CentroSolar 5,5kW PS5.5 (Duschprodukter AB).

<sup>7</sup>. Effektoptimerare P405.

<sup>8</sup>. Effektoptimerare P300 (Futura Energi AB).

<sup>9</sup>. Totalkostnaden för solcellsmoduler och växelriktare.

<sup>10</sup>. Installationskostnad (Bengtsson, 2016, personlig intervju).

Tabell H-3. *Kostnad, effektgaranti och produktion för anläggningar A-E med 24 moduler.*

	A	B	C	D	E
Total investerings kostnad <sup>1</sup>	204000	142000	123000	128000	109000
Växel riktarens utbyteskost. <sup>2</sup>	27200	26000	26000	32900	32900
Effekt garanti. <sup>3</sup>	0,935	0,913	0,900	0,913	0,900
Års produk./effekt gar. <sup>4</sup>	8380	6300	5620	5990	5350
Simulerade produktion <sup>5</sup>	8563	6327	6740	6059	6465
Kvot sim. prod. / beräk. prod. <sup>6</sup>	1,02	1,01	1,20	1,01	1,21

<sup>1</sup>. Anläggningens totala investeringskostnad.

<sup>2</sup>. Växel riktarens utbyteskostnad efter 15 år (Svensksolenergi).

<sup>3</sup>. Effekt garanti snitt 30 år (Sunpower Corporation 2012, Centrosolar Group AG 2016, Solcellsproffsen AB 2016).

<sup>4</sup>. Den sökta årsproduktionen genom effektgarantin.

<sup>5</sup>. Den simulerade årsproduktionen i PVsystem.

<sup>6</sup>. Kvoten av den simulerade årsproduktionen genom beräknade årsproduktion genom effektgarantin.

Effektgaranti är den garanti tillverkarna ger för hur lågt verkningsgraden för modulerna som längst får sjunka till under garantitiden. Garantin kan både vara linjär och icke linjär, men i denna rapport är effektgarantin approximerad som linjär.

Den timvisa produktionen som simulerades fram med hjälp av PVsyst för olika storlekar på anläggningen användes sedan som inparameter i Matlab, där produktion jämfördes med elförbrukningen för förskolan. Jämförelsen med förbrukningen gav hur många timmar av produktionen som direkt kunde användas, hur och när det blev överskott räknades också ut. Timmarna som producerats av anläggningen och som kunde användas direkt multipliceras sedan med 1,18, vilket är motsvarande approximerade framtida inköpspriset per kWh från elnätet. Överskottet multipliceras i sin tur med 0.65, vilket är approximerade säljpriset. Timvis summerades beloppet och multiplicerades med 30, då anläggningen antas producera elektricitet under en 30 års period. Beloppet jämförs sedan med totalkostnaden, som inkluderar solcellsmoduler, växelriktare och installationskostnad, för anläggningen, som har beräknas med hjälp av Excel. Den timmen för vilket beloppet överensstämmer med totalkostnaden multiplicerades sedan med 30 genom 8760 (timmar på ett år), för att få fram återbetalningstiden i år.

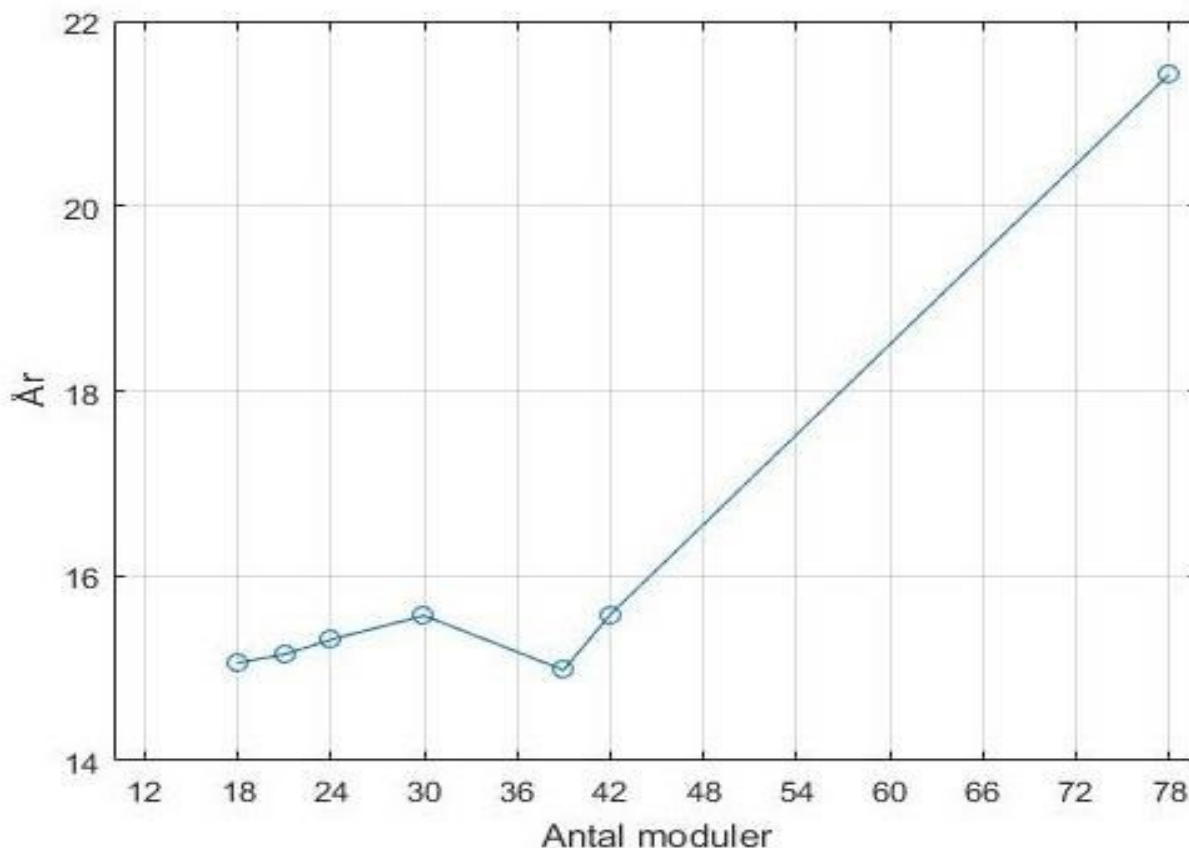
### H - 3. Resultat

De solcellsmoduler och växelriktare som jämfördes ses i tabell H-1. Solcelltillverkaren CentroSolar testades med två olika växelriktare, en trefas växelriktare från CentroSolar som jämfördes med en enfas växelriktare och optimerare från SolarEdge. Solcellsmodulerna från JA Solar testades på samma sätt som CentroSolar solcellsmodulerna. Dessa jämfördes sedan med den dyrare solcellsmodullen SunPower som har bättre prestanda och är högst rankad på Solar Score Card. I samtliga fall användes 24 solcellsmoduler.

Den ekonomiska jämförelsen av solcellsmodulerna och växelriktarna i tabell H-3 gav att JA Solar hade bäst *återbetalningstid* (för investering och installation), se tabell H-3 kvot. Att använda växelriktare från CentroSolar var ett något mer lönsamt alternativ än att använda den från SolarEdge. SunPower gav bättre återbetalning än CentroSolar. De ekonomiska beräkningarna för de olika solcellsmodulerna finns i tabell H-2 och H-3 och utifrån resultatet gjordes vidare simuleringar med färre och flera solcellsmoduler av JA Solar och växelriktare från CentroSolar. I figur H-1 visas grafen för *återbetalningstiden* med olika antal moduler.

Utifrån simuleringarna för olika antal moduler varierar *återbetalningstiden* för 18 och 39 stycken moduler mellan 15,0 år och 15,6 år, dock är den för 18 moduler 15,1 år och för 39 moduler 15,0 år. Ökningen i *återbetalningstid* som ses i figur H-1 för 30 moduler beror på att dimensioneringen för anläggningen har påverkan på priset då en större anläggning möjliggör en större växelriktare (priset per Watt sjunker med storleken). *Återbetalningstiden* ökar kraftigt för fler än 42 moduler.

Resultatet från simuleringarna gav att det optimala antalet moduler är 39 stycken. Maxeffekten för anläggningen med 39 solcellsmoduler av JA Solar är 10,1 kWp, har arean 64 m<sup>2</sup> och producerar 10500 kWh per år, vilket är 16 % av den simulerade elförbrukningen för 2016. Där simuleringen är baserad på data före och efter energieffektiviseringsåtgärderna som gjordes i november 2015 på Almtuna förskola (Bilaga D).



Figur H-1. Återbetalningstiden för olika antal moduler från JA Solar och växelriktare från CentroSolar. Återbetalningstiden har beräknats genom att ta hänsyn till investeringskostnad för solcellsmodulerna, växelriktare, byte av växelriktare, installationskostnader, inköpspris av elektricitet från nätet och försäljningspris av överskottet från solcellsanläggningen till nätet.

## H - 4. Diskussion

För att avgränsa rapporten är inte tunnfilmssolceller representerade i jämförelsen då de står för en liten andel av den svenska marknaden och inte ansågs vara relevant för Almtuna förskola då det är enklare att hitta leverantörer av monokristallina och polykristallina solceller. Det finns många olika leverantörer av både monokristallina och polykristallina solceller och därför har båda dessa jämförts i studien, dock användes bara en polykristallin och två monokristallina solceller, detta för att avgränsa studien.

I rapporten har det utgått från att alla solcellsmoduler har en linjär effektgaranti, där tabellvärdet är snittet för livslängden. En del av tillverkarna gav linjär och andra gav icke linjär effektgaranti, dessutom var det för en 25 års period medan det i rapporten har approximerats för en 30 års period. Att approximera effektgarantin som linjär gjordes enbart för att förenkla jämförelsen, vilket gör att resultat i rapporten kan för vissa solcellsmoduler skilja sig från ett verkligt utfall men detta antas vara marginellt.

Återbetalningstiden (för investering, växelriktarbyte och installation) som fick genom att summera fram till en vis timme multiplicerades med 30 genom 8760 kan ha en större inverkan på resultat. Exempelvis i beräkningarna så återbetalade sig en anläggning i den 3500 timmen och sedan multiplicerades med 30 genom 8760 för att få fram återbetalningen i år. Felet kommer bero på hur medelvärdet för dessa 3500 timmar skiljer sig från medelvärdet för hela året. Om medelvärdet för dessa timmar är lägre än årets medelvärde kommer återbetalningstiden bli längre än i verkliga fallet och det omvända om medelvärdet för de 3500 timmarna är högre än årets. Samma typ av fel gäller även för det valda året om detta skiljer sig från medelåret för 30 årsperioden. Återbetalningstiden är

beräknad inklusive byte av växelriktare, så *återbetalningstiden* är för totalkostnaden för anläggningen över dess livstid och inte för investeringskostnaden. Om återbetalningstiden hade räknats för enbart investeringskostnaden hade *återbetalningstiden* blivit kortare än det framtagna resultatet.

*Återbetalningstiden* skiljer sig marginellt mellan 18-42 moduler, snabbast återbetalning var då anläggning bestod av 39 moduler. Om ett eventuellt energilager ansluts till anläggningen i framtiden är det fördelaktigt med en större anläggning i ovanstående intervall.

För vissa storlekar av växelriktare har det inte funnits några prisuppgifter. Priset har då approximerats med att medelvärdet av en storlek större respektive en storlek mindre. Då priset sjunker per kW desto större växelriktare man väljer, ses det som troligt att för en motsvarande växelriktare är priset lägre en medel mellan en storlek mindre och en storlek större.

Simuleringarna i PVsyst har ibland innehållit ett meddelande om "mitch match", där exempelvis anläggningen ström var något högre än den ström som växelriktaren klarar av. Simuleringar i PVsyst går ej att köra om mitch match är för stort, utifrån detta bedöms påverkan av resultat vara marginellt.

### H - 5. Slutsats

Förslaget utifrån denna rapport är därför att investera 39 solcellsmoduler, då anläggningen har kortast återbetalningstid och är därav det mest ekonomiska. Med 39 moduler finns även möjlighet för energilagring utan att det nödvändigtvis skulle medföra att anläggningen behöver byggas ut.

### H-6. Referenser

Centrosolar Group AG. (2016). D-Series-Module-Multicrystalline-60. <https://www.centrosolaramerica.com/wp-content/uploads/2016/01/D-Series-Module-Multicrystalline-60.pdf> [2016-04-25].

Duschprodukter AB. Solcellsmoduler. <http://www.sol-eye.com/solcellssystem/solcellsmoduler/centrosolar-250w-poly-s250p60-professional> [2016-04-25].

Duschprodukter AB. Växelriktare. <http://www.sol-eye.com/solcellssystem/vaxelriktare/vaxelriktare-5-5kw-3-fas-centrosolararkostal> [2016-04-25].

Euronom AB (2013). Solelpaket Sun Power 3fas–Fast Montage. [http://www.euronom.se/filer/Paketpriser\\_Sunpower.pdf](http://www.euronom.se/filer/Paketpriser_Sunpower.pdf) [2016-04-25].

Futura Energi AB. SolarEgde Växelriktare. <http://www.solelgrossisten.se/product/list/se-vaxelriktare/246> [2016-04-25].

Futura Energi AB. SolarEgde Optimerare <http://www.solelgrossisten.se/product/list/se-optimerare/306> [2016-04-25] *Kjell Bengtsson; projektledare inom sol-el på Euronom. 2016. Intervju 20 april.*

Kovacs, P. (2015). Jämförande provning av Nätanslutna solelsystem 2014. Borås: SP (Energiteknik Rapport, 4P05081): [http://www.svensksolenergi.se/upload/nyheter/nyheter2015/Provning\\_av\\_sma\\_natanslutna\\_solelsystem\\_EM-SP\\_2015.pdf](http://www.svensksolenergi.se/upload/nyheter/nyheter2015/Provning_av_sma_natanslutna_solelsystem_EM-SP_2015.pdf) [2016-05-10].

The MathWorks, Inc(2016). Matlab. [http://se.mathworks.com/products/new\\_products/latest\\_features.html](http://se.mathworks.com/products/new_products/latest_features.html) [2016-06-19].

Microsoft Corp (2016). Excel. <https://products.office.com/en-us/excel> [2016-06-19].

Solcellsproffsen AB (2016). JA Solar. <http://www.solcellsproffsen.se/ja-solar-se/260w-svart-monokristallin-solpanel-ja-solar-jam6-60-260bk-hamtlager.html> [2016-04-25].

Sunpower Corporation (2012). SunPower Limited Product and Power Warranty for PV Modules. <http://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/warranties/wr-sunpower-limited-productand-power-warranty-pv-modules.pdf> [2016-04-25].

Svensksolenergi. Drift och underhåll av solcellsanläggningar.

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

<http://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi/Solel/drift-och-underhall-av-solcellsanlaeggningar> [2016-04-25].

### H-7 Appendix

Tabell H-7.1. *Kostnad för 24 solcellsmoduler från SunPower SPR-E20-327 och en växelriktare från SolarEdge 6 kW SE6000*

SunPower SPR-E20-327	15,22	Kr/Watt inkl moms
SolarEdge 6 kW SE6000	2,31	Kr/Watt inkl moms
Optimizer P405	<u>2,45</u>	Kr/Watt inkl moms
Installation	<u>5,99</u>	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	25,99	Kr/Watt inkl moms
<hr/>		
Kostnad system	204006	Kr/Watt inkl moms
Produktion per år	8563	Timmar
Växelriktare byte kostnad	27222	Kr/Watt inkl moms
Elpris	1,18	Kr/kWh
Effekt garanti snitt 25år	0,935	
Sökt årsproduktion	7838	Timmar
Sökt årprod/effekt garanti	8383	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,02	Procent



Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Tabell H-7.2. *Kostnad för 24 solcellsmoduler från CentroSolar S250P60 Professional och en växelriktare från SolarEdge 5 kW SE5000.*

CentroSolar S250P60 Professional	12,8	Kr/Watt inkl moms
SolarEdge 5 kW SE5000	2,89	Kr/Watt inkl moms
Optimizer P300	2,55	Kr/Watt inkl moms
Installation	5,47	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	23,71	Kr/Watt inkl moms
Kostnad system	142318	Kr/Watt inkl moms
Produktion per år	6327	Timmar
Växelriktare byte kostnad	26032	Kr/Watt inkl moms
Elpris	1,18	Kr/kWh
Effekt garanti snitt 25 år	0,91	
Sökt årsproduktion	5707	Timmar
Sökt årsprod/effekt garanti	6254	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,01	Procent

Tabell H-7.3. *Kostnad för 24 solcellsmoduler från JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI och en växelriktare från SolarEdge 5 kW SE5000.*

JA Solar JAM6(BK) -60-260/Sn	9.96	Kr/Watt inkl moms
SolarEdge 5 kW SE5000	2,78	Kr/Watt inkl moms
Optimizer P300	2,45	Kr/Watt inkl moms
Installation	4,55	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	19,75	Kr/Watt inkl moms
Kostnad system	123287	Kr/Watt inkl moms
produktion per år	6743	Timmar
Växelriktare byte	26032	Kr/Watt inkl moms
Elpris	1,18	Kr/kWh
Effekt garanti snitt 25år	0,9	
Sökt årsproduktion	5062	Timmar
Sökt årsprod/effekt garanti	5624	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,19	Procent

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Tabell H-7.4. *Kostnad för 24 solcellsmoduler från CentroSolar S250P60 Professional och en växelriktare från CentroSolar 5,5 kW PS5.5.*

CentroSolar S250P60 Professional	12,8	Kr/Watt inkl moms
CentroSolar 5,5 kW PS5.5	3,65	Kr/Watt inkl moms
Installation	4,93	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	21,38	Kr/Watt inkl moms
Kostnad system	128310	Kr/Watt inkl moms
Produktion per år	6059	Timmar
Växelriktare byte	32850	Kr/Watt inkl moms
Effekt garanti snitt 25år	0,91	
Sökt årsproduktion	5463	Timmar
Sökt årsprod/effekt garanti	5987	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,01	Procent

Tabell H-7.5. *Kostnad för 24 solcellsmoduler från JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI och en växelriktare från CentroSolar 5,5 kW PS5.5.*

JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI	9,96	Kr/Watt inkl moms
CentroSolar 5,5 kW PS5.5	3,50	Kr/Watt inkl moms
Installation	4,04	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	17,51	Kr/Watt inkl moms
Kostnad system	109278	Kr/Watt inkl moms
produktion per år	6465	Kr/Watt inkl moms
Växelriktare byte	32850	Kr/Watt inkl moms
Elpris	1,18	Kr/kWh
Effekt garanti snitt 25år	0,9	
Sökt årsproduktion	4818	Timmar
Sökt årsprod/effekt garanti	5353	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,20	Procent
Livslängd solceller	25	År

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Tabell H-7.6. *Simulering i Matlab med den nya beräknade elförbrukningen, inkluderat byte av växelriktare efter 15 år och solcellsmodulernas livslängd är satt till 30 år.*

Simulering med 18 moduler		
timmar	4398	Med 5,5 kW växelriktare (3.51 kr/W)
återbetalningstid år	15,06	
Simulering med 21 moduler		
tim	4425	Med 5,5 kW växelriktare (3.51 kr/W)
återbetalningstid år	15,15	
Simulering med 24 moduler		
timmar	4471	Med 5,5 kW växelriktare (3.51 kr/W)
återbetalningstid år	15,31	
Simulering med 30 moduler		
timmar	4547	Med 5,5 kW växelriktare (3.51 kr/W)
återbetalningstid år	15,57	
Simulering med 42 moduler (2x21) <sup>1</sup>		
timmar	4548	Med 10.1kW växelriktare (3.1 kr/w) <sup>2</sup>
återbetalningstid år	15,57	
Simulering med 39 moduler <sup>3</sup>		
timmar	4375	Med 10.1kW växelriktare (3.1 kr/w) <sup>4</sup>
återbetalningstid år	14,98	
Simulering med 78 moduler <sup>5</sup>		
timmar	6254	Med 2x10,1 kW växelriktare
återbetalningstid år	21,41	(3,1 kr/W per st)
Simulering med 111 moduler <sup>6</sup>		
timmar	- <sup>7</sup>	Med 10,1 kW växelriktare (3,1 kr/W)
återbetalningstid år	- <sup>7</sup>	2x8 kW växelriktare (3,26 kr/W per

<sup>1</sup> 21 moduler centrala taket & 21 västra taket (västra falangen).

<sup>2</sup> växelriktare till varje sub array i PVsyst 5,5 kW, totalt användes 2 växelriktare. I Matlab ändrades detta till en 10,1 kW för hela anläggning, Matlabkoden har justerats för detta.

<sup>3</sup> 39 moduler centralt tak, skorsten flyttad.

<sup>4</sup> växelriktare till varje sub array i PVsyst 5,5 kW, totalt användes 2 växelriktare. I Matlab ändrades detta till en 10,1 kW för hela anläggning, Matlabkoden har justerats för detta.

<sup>5</sup> 39 moduler centrala taket, skorsten flyttad, även västra falangens västra tak har 39 moduler

<sup>6</sup> 39 (13x3) moduler på centrala taket, skorsten flyttad, samt moduler på västra falangen västra taket 72 (18x4) moduler.

<sup>7</sup> Återbetalningstiden är längre än 30 år, vilket innebär att solcellsanläggningen inte återbetalas.

## Bilaga H: Ekonomisk dimensionering av solcellsanläggningens storlek

Tabell H-7.7. *Kostnad för 39 solcellsmoduler från JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI och en växelriktare från CentroSolar 10 kW PS10,1.*

JA Solar JAM6(BK) -60-260/SI	9,96	Kr/Watt inkl moms
CentroSolar 10 kW PS10,1	3,1	Kr/Watt inkl moms
Installation	3,91	Kr/Watt inkl moms
Total kostnad	16,98	Kr/Watt inkl moms
Kostnad system	172177	Kr/Watt inkl moms
produktion per år simulerat i PVsyst	10542	KWh
Växelriktare byte	47151	Kr/Watt inkl moms
Elpris	1,18	Kr/kWh
Effekt garanti snitt 25år	0,9	
Sökt årsproduktion	7435	Timmar
Sökt årsprod/effekt garanti	8261	Timmar
Reall prod/sökt prod/effekt garanti	1,27	Procent

# Bilaga I - Simulering av energilagring

Karl Larson, Axel Timm

2016-05-20

## I - 1. Inledning

Energilagring blir allt viktigare i dagens energisystem då mängden förnyelsebara energikällor ökar. Större mängd sol och vindkraft leder till större produktionstoppar, både i storskalig och i småskalig energiproduktion. Dessa produktionstoppar skapar möjlighet till att lagra energi, en lagringspotential, som kan användas då energibehovet är större än energiproduktionen (Larsson & Ståhl, 2012).

Den lagringsmetod som förväntas växa mest under de närmsta åren är batterier. Detta till följd av tekniska innovationer samt prisfall (Vinois, 2013). För solelsproduktion används idag främst batterier som energilager, där en rad olika batterityper är under utveckling (Nordling m.fl., 2015).

Syftet med denna delrapport är att undersöka lagringspotentialen för det framtagna solpanelsförslaget åt Almtuna förskola. Delrapporten ska även ge ett förslag på batterilager, inkluderande batterityp samt dimensionering utifrån solpanelernas storlek och Almtuna förskolas energiförbrukning.

### I - 1.1 Batteriets egenskaper

För att lagring av solel ska bli hållbart och ekonomiskt ställs höga krav på batteriet. Det bör ha bra livslängd, hög energieffektivitet, liten självurladdning samt klara av klimatet (Xingchi m.fl., 2012).

De faktorer som påverkar livslängden hos ett batteri är antalet upp och urladdningscykler samt batteriets Depth of Discharge (DOD). DOD är den rekommenderade urladdningen i förhållande till batteriets totala kapacitet, angiven i procent. Dessa varierar mellan olika batterier och är angivna i bruksmanualen. För att få så bra livslängd som möjligt gäller det att urladdningar är inom DOD intervallet. Har batteriet ett stort DOD så har man en större brukbar kapacitet och detta minskar behovet av överdimensionering när man optimerar sitt batterilager (Martin, 2015).

När man ser till batteriets datablad för att få information om dess livslängd är det inte säkert att den speglar det verkliga utfallet. Data kommer från batteriets beteende i kontrollerade testmiljöer enligt IEC standard (International Electrotechnical Commission). Beroende på hur mycket det verkliga scenariot avviker från testmiljön kan den verkliga livslängden bli betydligt lägre (Dufo-López m.fl., 2013).

Det finns idag olika batteritekniker, där varje teknik är olika långt utvecklad. I tabell I-1 visas två vanliga typer av batteri som används vid lagring av överskottsel från solpaneler. Marknadens vanligaste batterityper för solellagring och deras prestanda inom olika områden presenteras i tabell I-1.

Tabell I-1. *Egenskaper för olika batterityper vanliga för sollagring. Batteriegenskaperna påverkar dimensionering av batterilager (Xingchi m.fl., 2012; Nordling m.fl., 2015).*

Batterityp	Livslängd, cykler	Verkningsgrad, %	Depth of Discharge,	Självurladdning, % / månad
Blysyra VRLA	300	80	70	3
LiFePO <sub>4</sub>	200-2000	>90	>90	1

### I - 2. Metod

För att bestämma storlek och typ av batterilager på Almtuna förskola så behövdes data tas fram för den mängd solel som kan lagras samt hur ofta lagring av solelen sker. Detta gjordes genom att ta fram den förväntade elproduktionen från de installerade solpanelerna. Denna elproduktion jämfördes sedan med skolans elförbrukning. När elproduktionen från solpanelerna överstiger fastighetens elförbrukning fås ett överskott som då blir den teoretiska lagringspotentialen.

Elproduktionen per timme från solpanelerna togs fram genom simuleringsprogrammet PVsyst (för mer information, se bilaga D). Data för elförbrukningen per timme på Almtuna förskola simulerades (för mer information, se bilaga C). Genom simuleringar i Matlab (för mer information, se bilaga F) så kunde den teoretiska lagringspotentialen, lagringsintervall samt medeluppladdning över ett år bestämmas. Batteriets kapacitet dimensioneras enligt:

$$\text{Batterikapacitet} = \frac{\text{medeluppladdning} + \text{standardavvikelse}}{\text{DOD}} \quad \text{Ekvation I-1}$$

Detta för att se till att batteriet inte grundurladdas då det påverkar batteriets livstid negativt. När den teoretiska lagringspotentialen har fastställs kan den verkliga lagringspotentialen med framtagen batterikapacitet bestämmas. För att ta fram den verkliga lagringspotentialen utformades ytterligare en Matlab kod (för mer information, se bilaga F). Denna kod tar fram årlig data för el som lagras, värmeförluster samt antalet cykler som batteriet går igenom. Detta ger en uppskattning av batteriets möjliga livslängd.

$$\text{Livslängd} = \frac{\text{Cykler per år}}{\text{Totala antalet cykler enligt märkning}} \quad \text{Ekvation I-2}$$

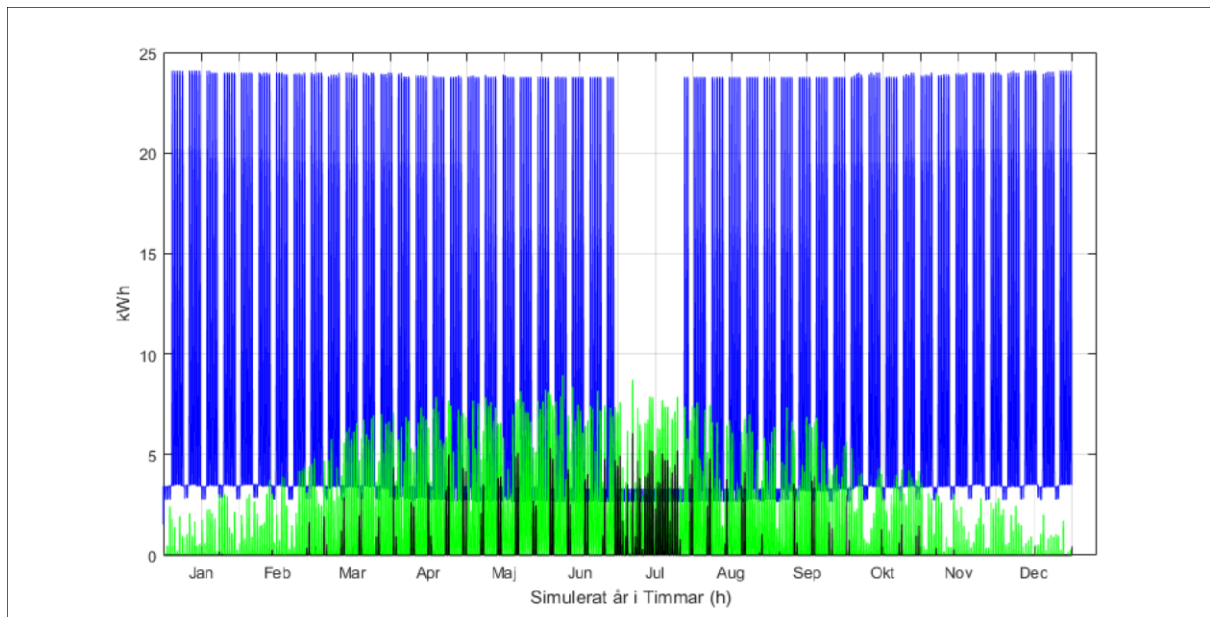
I simuleringen antogs 10 % interna systemförluster vid överföring av elen från solpanelen till batteriet pga. värmeutveckling i regulator samt värmeutveckling vid ur- och uppladdning av batteri (Iman m.fl., 2016).

Det antogs att all el som lagras användes så fort elproduktionen från solpanelerna inte täcker elförbrukningen. Detta möjliggör att det lagras maximalt med energi sett till det dimensionerade batteriet. Vidare antogs att vid de tillfällen som elproduktionen från solpanelerna överstiger förbrukningen, samtidigt som batteriet är fulladdat, så säljs resterande överskott till elnätet.

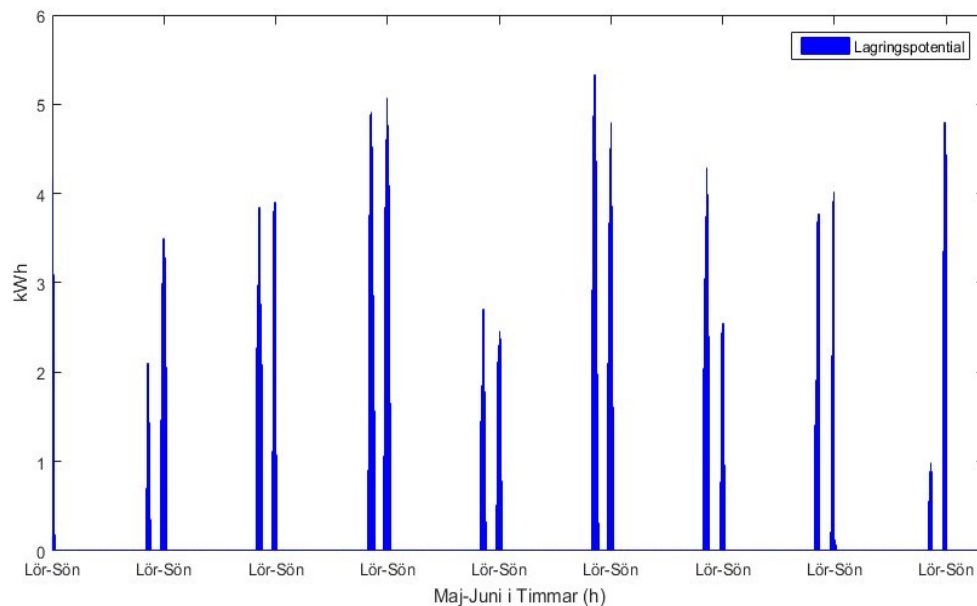
### I - 3. Resultat

#### I - 3.1 Lagringspotential

De uppskattade lagringstillfällena för simulerat år visas i figur I-1. När tidpunkten för lagringstillfällena undersöktes så upptäcktes att lagring av solel främst sker under helger. I figur I-2 visas lagringstillfällena för maj till juni för simulerat år. Man ser att det enbart är på helgerna som det finns en lagringspotential.



Figur I-1. Producerad solet per timme från solpanelerna (för mer information, se bilaga D) i de gröna staplarna. Elförbrukningen per timme för simulerat år (för mer information, se bilaga B) i de blå staplarna. Uppskattad lagringspotentialen per timme för det simulerade året i de svarta staplarna.



Figur I-2. Den uppskattade lagringspotentialen för maj till och med juni.

### I - 3.2 Val av batteri

För Almtunaförskola tyder resultaten på att ett  $\text{LiFePO}_4$ -batteri skulle lämpa sig bäst. De utmärkande egenskaperna är dess långa livslängd, höga energieffektivitet samt goda förmåga att hantera den spridda ur- och upp-laddningstrenden som förekommer. I tabell I-2 ses hur laddningscyklerna fördelas över ett år. Utifrån tabell I-3 ser man att den verkliga lagringspotentialen är mycket mindre

## Bilaga I – Simulering av energilagring

än den teoretiska. Överskottet till elnätet är högt då det förekommer ofta att batteriet är fulladdat vid lagringstillfället.

Tabell I-2. Uppskattat värde för den teoretiska lagringspotentialen, medeltiden mellan uppladdningarna, medeluppladdningskapacitet och batterikapacitet.

Lagringspotential kWh/år	Medeltid mellan uppladdningarna, (standardavvikelse), h	Medeluppladdnings- kapacitet (standardavvikelse), kWh	Batterikapacitet kWh
1324	77 (139)	2,19 (1,52)	4,12

Tabell I-3. Den faktiska lagringen eller verklig lagring, värmeförluster, cykler och batteriets livslängd.

Verklig lagring, kWh/år	Värmeförluster, kWh/år	Överskott till elnätet, kWh/år	Cykler, antal/år	Batteriets livslängd, år
252	28	1045	105	19

### I - 4. Diskussion

När man ser till den teoretiska lagringspotentialen över det simulerade medelåret ser man att lagringspotentialen var fördelad mellan mars och september. Batteriet är då aktivt 7 av 12 månader medan resterande fem månader har batteriet inte någon märkbar funktion. Istället för att batteriet står tomt skulle man under dessa månader kunna använda batteriet som reservkraft för eventuellt strömavbrott. Då LiFePO<sub>4</sub> batteriet har låg självurladdning kommer det bara laddas ur 5% om det laddas upp fullt i början av perioden.

Simuleringar visade att lagring av överskottsel från solpanelerna på Almtuna förskola enbart skedde på helger, bortsett från sommarledigheten. Detta då energiförbrukningen dagtid var lägre under helger. För att utnyttja energilagret på ett effektivt sätt skulle man kunna dimensionera ett batteri som är tillräckligt stort för att lagra all överskottsel från solpanelerna under helgen för att sedan använda batterilagret under veckodagarna då energiförbrukningen är högre. Batterilagret kan då användas för att minska effekttoppar. En sådan lösning skulle kunna vara möjlig men kräver väldigt stora investering som blir svårt att motivera.

Koden som byggdes är lätt applicerad på alla typer av fastigheter oavsett hur dess förbrukning ser ut. En nackdel med detta är att koden inte identifierar mönster och beteenden som kan vara utmärkande för just skolfastigheter.

### I - 5. Slutsatser

Almtuna förskola har en verklig lagring som är mycket mindre än den teoretiska lagringspotentialen med utgångspunkt från det framtagna solpanelsförslaget. Resultaten pekar på ett batteri av typen LiFePO<sub>4</sub> då det hade bäst förmåga att hantera de uppsatta kraven. Batteriet ska vara av storleksordningen 4,12kWh enligt de optimeringar och antaganden som utförts.



## I-6. Referenser

- Dufo-López R., Lujano-Rojas J.M & Bernal-Agustín J.L. (2013). *Comparison of different lead–acid battery lifetime prediction models for use in simulation of stand-alone photovoltaic systems*.
- Iman J., Pouya I., Jinsoo K. & Changkyoo Y. (2016). *Design of Hybrid Renewable Energy Systems with Battery/Hydrogen storage considering practical power losses*. Dept. of Environmental Science and Engineering, College of Engineering, Center for Environmental Studies, Kyung Hee University. Republic of Korea.
- Martin J. (2015). *Why depth of discharge matters in solar battery storage system selection*. Batteries & Energy Storage. URL: <http://www.solarchoice.net.au/blog/depth-of-discharge-for-solar-batterystorage> [2016-04-18].
- Larsson Ö. & Ståhl B. (2012). *Lösningar på lager*. VINNOVA. Swedish Governmental Agency for Innovation .VINNOVA Analys. ISSN: 1651-355X.
- Nordling A., Englund R., Hembjer A., & Mannberg A. ( 2015). *Energilagring, Teknik för lagring av el*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Sverige. ISBN: 978-91-7082-901-7.
- Vinois J.A. (2013). *The Future role and challenges of Energy Storage*. EUROPEAN COMMISSION (DG ENER Working Paper).
- Xingchi W., Adelman P. & Reindl T. (2012). *Use of LiFePO<sub>4</sub> Batteries in Stand-Alone Solar System*. Solar Energy Research Institute of Singapore & University of Applied Science Ulm, Germany.

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energiogteknik](http://www.slu.se/energiogteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000