



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

Dimensionering av Jumkils nya skolas energisystem – implementering av bergvärmepump, solcellsanläggning och batterilager

*Dimensioning a energy system for the new school in Jumkil
– implementing geothermal heat pump, photovoltaic system and
battery storage*

Frida Andersson, Johanna Carlsson, Linnéa Hane, Jesper Larsson,
Josephine Lindén Magnusson, Hanna Olofsson, Richard Robertsson,
Pontus Roos, Jessica Wänlund

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

**Examensarbete 2018:07
ISSN 1654-9392
Uppsala 2018**

Dimensionering av Junkils nya skolas energisystem – implementering av bergvärmepump, solcellsanläggning och batterilager

Dimensioning a energy system for the new school in Junkil
– implementing geothermal heat pump, photovoltaic system and battery
storage

*Frida Andersson, Johanna Carlsson, Linnéa Hane, Jesper
Larsson, Josephine Lindén Magnusson, Hanna Olofsson,
Richard Robertsson, Pontus Roos, Jessica Wänlund*

Handledare: Åke Nordberg, 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: 2018
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2018:07
ISSN: 1654-9392
Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: energikartläggning, miljöcertifiering, flödesbatteri, varvtalsstyrd värmepump,
PVsyst, solcellsanläggning

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

The purpose of this study is to develop a modern and energy efficient system solution for a school in Jumkil, combining solar power, battery storage and geothermal heat pump system. By using models, simulations and available literature the study examines the dimensions of the included components for optimal coverage of the schools energy demand. The type of solar cells used is monocrystalline silicon solar cells and from an economical point of view, the installed effect should be 55 kW_p. For such a solution the optimal battery capacity is 60 kWh and the battery technique used is vanadium redox flow battery. The vanadium redox flow battery technique is safe, have a long lifetime as well as a high depth of discharge. Implementing a smaller photovoltaic plant of 22 kW_p reduces the need of battery capacity to 20 kWh. The battery is used for several applications, for example storage of the excess solar production and reducing the power peaks to eliminate expensive charge. An inverter heat pump of 79 kW is installed to cover the heat demand. The study also shows that a geothermal automatically controlled heat pump combined with floor heating is the best combination to reduce electricity costs annually. In interaction with the self-produced power and the vanadium redox flow battery the system allows the school to reduce their electricity consumption and thus the need of buying power from the grid decreases.

Sammanfattning

Syftet med studien är att designa en modern och energieffektiv systemlösning för en skola i Jumkil där systemlösningen består av en solcellsanläggning, ett batterilager och en varvtalsstyrd värmepump. Genom att använda modeller, simuleringar och tillgänglig litteratur undersöker studien vilka dimensioner de olika komponenterna bör ha för att täcka skolans värme- och elbehov. Solcellerna som implementeras är av typen monokristallina kiselceller och från ett ekonomiskt perspektiv bör den installerade effekten vara 55 kW_p. För en sådan lösning är den optimala batterikapaciteten 60 kWh och är av typen flödesbatteri. Fördelarna med flödesbatterier är att de är säkra, har lång livslängd och stort urladdningsdjup. Om en mindre solcellsanläggning med en installerad effekt på 22 kW_p installeras kan batterikapaciteten reduceras till 20 kWh. Batteriet används bland annat för att lagra överskottet av producerad sol och för att kapa effekttoppar vilket minskar kostnaderna för inköpt el. Även en bergvärmepump med en effekt på 79 kW installeras för att täcka värmebehovet. Studien visar att kombinationen av bergvärmepumpen och golvvärme är det bästa sättet att minska årliga elkostnader. Tillsammans med den egenproducerade elen och flödesbatteriet kan skolan minska sin elförbrukning och på så sätt minska behovet av att köpa el från nätet.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	1
1.4 Förutsättningar	1
2 Metod och teori	1
2.1 Miljöcertifiering	1
2.2 Ventilation	2
2.3 Transmission	3
2.4 Gratisvärme	3
2.5 Elavtal	4
2.6 Basförbrukning	4
2.7 Dimensionering av bergvärmepump	4
2.8 Dimensionering av solcellsanläggning	5
2.9 Dimensionering av batterilager	6
3 Resultat	7
3.1 Energiflöden	7
3.2 Bergvärmepump	8
3.3 Solcellsanläggning	9
3.4 Batterilager	10
4 Diskussion	13
5 Slutsats	15

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Utanför Uppsala byggs Junkils nya skola som förväntas stå klar hösten 2018. Projektet drivs av det kommunala företaget Skolfastigheter AB vars vision är att bygga en energieffektiv skola utifrån moderna standarder vad gäller arbetsmiljö, trivsel och pedagogik. Genom installation av solceller, batterilager och bergvärmepump skapas möjligheten att använda egenproducerad el samtidigt som skolans värmebehov tillgodoses på ett ekonomiskt samt miljövänligt sätt. Skolbyggnaden byggs enligt miljöcertifieringen Miljöbyggnad som är ett certifieringssystem utvecklad av organisationen Sweden Green Building Council. Visionen att uppnå certifieringsnivå Silver visar på ett högt engagemang för hållbarhetsfrågor och genom att utforma en lösning som är nytänkande samt ekonomiskt försvarbar ska systemet fungera som en inspirationskälla för andra skolor.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att fastställa en modern systemlösning som tillgodoser energibehovet på Junkils nya skola. Utifrån en energikartläggning ska lämpliga dimensioner undersökas för en solcellsanläggning, ett batterilager och en bergvärmepump. För att erhålla ett energieffektivt el- och värmesystem fastställs hur systemet ska styras på ett optimalt sätt.

1.3 Frågeställningar

- Vilket värme- och elbehov har Junkils nya skola?
- Hur ska bergvärmepumpen dimensioneras och på vilket sätt ska den styras efter verksamhetens behov?
- Vilka av skolans tak är optimala för solceller och hur stor effekt ska installeras på fastigheten?
- Hur ska ett batterilager dimensioneras och utnyttjas för att skapa så stor nytta för fastigheten som möjligt?

1.4 Förutsättningar

Junkils nya skola förväntas erbjuda plats för 150 elever samt 36 förskolebarn. Antalet anställda på skolan uppskattas vara 19 stycken och skolverksamheten bedrivs cirka 200 dagar om året. En normal skoldag för eleverna är mellan klockan 08:00 till 16:00 på vardagar och för de anställda förläggs arbetsdagen på vardagar mellan klockan 08:00 till klockan 17:00. Utöver undervisning pågår ingen övrig aktivitet i byggnaden och från mitten av juni till slutet av augusti är skolan stängd.

Information kring byggnadens utformning i form av ritningar erhöles från skolfastigheter. Under projektets gång gjordes även ett besök på skolan där observationer kring byggnaden och dess omgivning upprättades av projektgruppen. Mer specifika förutsättningar kring delar i systemet finns att läsa under respektive sektion.

2 Metod och teori

2.1 Miljöcertifiering

När bygglovet för Junkils nya skola registrerades var Miljöbyggnad Manual 2.2 aktuell och används därför i följande beräkningar. De indikatorer som rapporten undersöker är energianvändning, energislag, värmeeffektbehov och solvärmelast. För varje indikator undersöks de tillhörande krav som Junkils nya skola måste uppfylla för att uppnå certifieringsnivå Silver. Indikatorerna beräknas med hänseende till geografiska justeringsfaktorer, klimatzoner, där Junkils nya skola ligger i klimatzon III (Boverket 2017). Indikatorerna beräknas mot den tempererade arean, A_{temp} . Den tempererade arean är samtliga areor som värms upp till mer än 10 °C och som omsluts av klimatskärmens insida. Klimatskärmen avser de byggnadsdelar vilka omsluter byggnaden (Boverket 2015).

Energianvändningen omfattar uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten samt fastighetsel och utesluter hushållsenergi samt verksamhetsenergi (Boverket 2017). Den specifika energianvändningen är energianvändningen fördelat på den tempererade arean uttryckt i kWh/m² per år. För att uppnå kravet Silver ska energianvändningen vara maximalt 75 % av den specifika energianvändning som tillåts i Boverkets byggregler vilket är maximalt 70 kWh/m² per tempererad area och år för lokaler större än 50 m² (Boverket 2015).

Värmeeffektbehovet definieras som byggnadens värmeförluster och omfattar värmetransmission, ventilation och luftläckage. Värmeeffektbehovet mäts i W/m² per tempererad area och beräkningar baseras på dimensionerande vinterutetemperatur, $DVUT$. I klimatzon III gäller att värmeeffektbehovet inte får överstiga 40 W/m² per tempererad area (Miljöbyggnad 2014).

Solvärmelasten, SVL , är den solenergi som genom att passera byggnadens fönster bidrar till uppvärmningen. Genom att utgå från att den maximala instrålningen mellan vår- och höstdagjämning är cirka 800 W/m² kan solvärmelasten uppskattas och då är det endast fönster riktade från väst till öst i söderläge som tas med i beräkningarna. Enligt Miljöbyggnad Manual 2.2 är gränsen för den maximala solvärmelasten 43 W/m² för miljöklass Silver (Boverket 2017).

Indikatorn Energislag infördes för att uppmuntra till en hög andel förnyelsebar energi av den totala energiförbrukningen. Elkraften som köps in ska vara miljömärkt och därav uppfylls kravet Silver (Miljöbyggnad 2014).

2.2 Ventilation

Beräkningar av ventilationsförluster, läckflöden och ventilationssystemets elförbrukning är baserade på värmebehovsberäkningar. För att klara kraven för Miljöbyggnads certifieringsnivå Silver krävs det att ventilationssystemet ska ha ett årligt luftflöde på 7 l/s och person samt 0,35 l/s och m² tempererad area. Koldioxidhalten får inte överstiga 1000 ppm per rum och luftläckaget ska för nybyggnation enligt certifieringskrav vara mindre än 0,3 l/s och m² tempererad area (Carlsson, Roos och Wänlund 2018).

Värmeförluster från ventilationen beror på den värme som försvinner med frånluften samt luftläckage från byggnaden vilket påverkar dimensioneringen av värmesystemet. Det specifika värmebehovet, Q_v , beräknas enligt

$$Q_v = \rho c q_{vent}(1 - \eta) d + \rho c q_{leakage}, \quad (1)$$

där ρ är luftens densitet, c är värmekapacitet, q_{vent} är ventilationsflödet i m³/s och η är värmeväxlarens verkningsgrad. Vidare är d ventilationsaggregatets relativa driftstid (där 1 betyder att ventilationen är på hela tiden och 0 att ventilationen aldrig är på) och $q_{leakage}$ är läckageflödet i m³/s (Carlsson, Roos och Wänlund 2018).

Med det beräknade specifika värmebehovet kan det totala värmebehovet beräknas enligt

$$E_{loss} = Q_v \Delta T, \quad (2)$$

där ΔT är skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur (Carlsson, Roos och Wänlund 2018).

Med rätt ventilationsaggregat kan elförbrukningen minimeras. Ventilationssystemets totala elförbrukning kan beräknas enligt

$$W_{el} = \sum SFP q_v t + W_{extra}, \quad (3)$$

där q_v är luftflödet, t är driftstiden, SFP är den specifika fläkteffekten och W_{extra} är den övriga elförbrukningen i ventilationssystemet. Den specifika fläkteffekten beskriver hur effektivt aggregatet är och man strävar efter ett så lågt värde som möjligt (Carlsson, Roos och Wänlund 2018).

Beräkningarna bortser från det ökade ventilationsbehovet i kök, badrum- och batteriutrymmen. Utrymmet med batterilagring kräver full ventilation dygnet runt vilket är något som beräkningarna bortser från. Beräkningarna baseras på en uppbyggd modell där temperaturserier för de tio senaste åren integreras med ovanstående ekvationer och antaganden kring ventilationsbehovet. Använda temperaturserier

består av uppmätta utomhustemperaturer för Uppsala flygplats då detta är den mätstation som ligger närmast Junkil (Carlsson, Roos och Wänlund 2018).

2.3 Transmission

Energiflödet i form av transmission sker genom klimatskärmen vilket är skiktet som avskiljer husets inre mot omgivningen. Klimatskärmen består av golv, väggar, fönster, dörrar och tak. För att beräkna transmissionsförlusterna används areor för byggnadsdelarna, temperaturserier, innetemperatur och värmeomgångskoefficienter så kallade U-värden (Hahne och Larsson 2018).

De areor som avses för respektive byggnadsdel är klimatskärmens omslutningsarea. Den definieras av Boverket som arean av klimatskärmens insida, mot byggnadens uppvärmda eller delvis uppvärmda ytor. De beräknade värdena har uppskattats utifrån erhållen ritning (Hahne och Larsson 2018).

För att kunna uppskatta läckaget används U-värden. Dessa beror dels av materialet, dels av tjockleken på byggnadsdelen och representerar värmeledningsförmågan. Rekommenderade U-värden för nybyggnation har använts i beräkningarna (Hahne och Larsson 2018).

Den momentana värmeförlusten P_{loss} kan beräknas enligt

$$P_{loss} = \sum U_i A_i \Delta T, \quad (4)$$

där U_i är värmeomgångskoefficienter, A_i är areor och ΔT är skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturen (Hahne och Larsson 2018).

Areor för varje byggnadsdel har uppskattats från ritningar samt standarder för lokalbyggnader. Därför kan de beräknade areorna skilja sig från skolans verkliga areor. Köldbryggorna har approximerats med ett schablonpåslag på 20 % av de totala transmissionsförlusterna. Denna procentsats skulle kunna vara högre då köldbryggorna beskrivs i aktuell miljöklass som minst 20 % av transmissionsförlusterna (Hahne och Larsson 2018).

2.4 Gratisvärme

Den största källan till gratisvärme i en fastighet är värmen från solinstrålning. En liten andel värme tillförs även från personer eller som spillvärme från belysning samt elektriska apparater (Dahlblom och Warfvinge 2010)

Beräkning av solvärmelasten SVL görs med tidsberoende data för global solinstrålning på platsen mellan år 2008-2017. En modell byggs för att möjliggöra beräkningarna, vilken på ett förenklat sätt tar i beaktande hur solens bana förändras under året. Bland annat varierar solens väderstreck, tidpunkt för solens upp- och nedgång liksom infallsvinkeln för solens strålar mot marken. Modellen bygger också på att solens strålar lyser in i olika fönster beroende på tid och datum. För att skapa en rimlig modell görs en del förenklingar, bland annat approximeras skolan som ett stort rum där endast fönster i öst-, väst- och söderläge beaktas (Lindén Magnusson och Olofsson 2018).

Solvärmelasten beräknas enligt

$$SVL = X g_{sys} \frac{A_{glas}}{A_{rum}}, \quad (5)$$

där X representerar en vektor med den tidsberoende globala solinstrålningen, A_{glas} är den totala arean för fönster, A_{rum} är den totala arean för skolans golvareal och g_{sys} är det sammanvägda g-värdet för fönsterglas och solskydd, vilket beskriver fönstrets genomsläpplighet av solljus (SGBC 2017).

Beräkning av personvärme grundas i att en medelstor människa i vila avger en viss mängd värme. Barn har en mindre yta som värme kan emitteras från samtidigt som de är mer rörliga individer än vuxna. Deras yta antas dock vara en mer avgörande faktor för avgiven värme och därför antas barnen avge mindre värme än vuxna.

Värme som avges vid belysning beräknas efter Skolfastigheters rekommendationer för ljus i klassrum. Beräkningar genomförs på LED-lampor och utifrån deras verkningsgrad kan en avgiven värmemängd beräknas (Lindén Magnusson och Olofsson 2018).

2.5 Elavtal

Upplands energi äger elnätet där skolan är belägen. Skolan har ett effektabonnemang där det finns en fast avgift på 800 kr/månad och en månadsavgift på 15 kr/kW för den högst uttagna effekten per timme under månaden. På vardagar mellan klockan 06:00 och 22:00 under november till mars månad är det höglasstid och då tillkommer en högbelastningsavgift på 58 kr/kW för maximal överförd effekt under månaden. Vidare tillkommer en elöverföringsavgift under höglasstid på 15 öre/kWh. Övrig tid gäller vanlig elöverföringsavgift på 4,3 öre/kWh. I den nuvarande elkostnaden ingår elpris, energiskatt samt elnätsavgift. Energiskatten är 41,38 öre/kWh inklusive moms (Upplands energi 2018).

För såld el ingår elpris, nätnyttä, elcertifikat och skattereduktion. Elpriset beräknas från det rörliga spotpriset som bestäms av Nord Pool Spot och är exklusive administrationsavgift på 2,2 öre (Nord Pool 2018). Elcertifikatets syfte är att producenter av förnybar el erhåller ett certifikat per levererad MWh el som kan säljas som en extra intäkt utöver inkomsterna från elförsäljningen. I genomförda beräkningar har elcertifikatet satts till 7 öre/kWh, nätnyttan är 5 öre/kWh och skattereduktionen är 60 öre/kWh (Upplands energi 2018).

2.6 Basförbrukning

Vid kartläggning av Junkils nya skolas basförbrukning av el beaktas elektriska komponenter, belysning och kök. Tidigare studier visar att dessa komponenter utgör den största delen av en byggnads basförbrukning. Skolans matsal behandlas som ett storkök vilket avser matlagning av ett färre antal rätter till ett stort antal människor. Användning av LED-lampor i skolans belysningssystem är omfattande och med energieffektiva LED-paneler minskar energianvändningen i jämförelse med användning av exempelvis halogenlampor. Elektriska komponenter innefattar persondatorer, kopiatorer, tvättutrustning och skrivare (Roos och Wänlund 2018).

2.7 Dimensionering av bergvärmepump

Junkils nya skola ligger utanför fjärrvärmenätet och måste därmed ha ett eget värmesystem (Vattenfall u.å.). En bergvärmepump, som utnyttjar värme lagrad i berget för att tillgodose en byggnad med värme och varmvatten, är ett lämpligt alternativ för en skolbyggnad (Hahne 2018). Därför undersöks hur en bergvärmepump bör dimensioneras för att tillgodose skolans värme- och varmvattenbehov. Eventuellt system för kylning beaktades inte eftersom det inte ingick i arbetsbeskrivningen från uppdragsgivaren.

Energibehovet för uppvärmning av tappvarmvatten har beräknats med hjälp av branschstandard för förskolor, grund- och gymnasieskolor. Som branschstandard används uppgifter från Sveby, vilket är ett utvecklingsprogram för standardisering inom energiområdet som bygg- och fastighetsbranschen står bakom. Förbrukningen anges i standarden per tempererad area och denna area beräknas utifrån erhållna ritningar över Junkils nya skola (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Skolan är en nybyggnation med god isolering och energieffektiva fönster. För sådana byggnader är golvvärme tillräckligt som uppvärmningssystem. Eftersom golv har en större yta än radiatorer kan temperaturen på den cirkulerande vätskan i systemet sänkas och därmed öka värmepumpens verkningsgrad. Vid installation av golvvärme kan dessutom husets inomhustemperatur sänkas med bibehållen komfort vilket medför ytterligare energibesparingar (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Två viktiga aspekter vid installation av en bergvärmepump är dimensionering och val av styrning. Pumpen kan antingen dimensioneras för att täcka hela eller endast en del av effektbehovet av värme. Det sistnämnda är det vanligaste, eftersom en effekttäckning på omkring 60 % av maxeffektbehovet ofta räcker för att täcka 80 till 85 % av det årliga energibehovet. Nackdelen med denna dimensionering är att det tillkommer ett behov av en spetsvärmekälla, ofta i form av en elpatron som genom omvandling av elektrisk energi hjälper till att höja temperaturen på vätskan i värmesystemet. Eftersom elpatronen inte utnyttjar energin i berget leder detta till ett drastiskt ökat effektbehov av elkraft under de kallaste dagarna. För att undvika detta kan pumpen istället dimensioneras för att täcka hela effektbehovet (Hahne,

Larsson och Lindén Magnusson 2018).

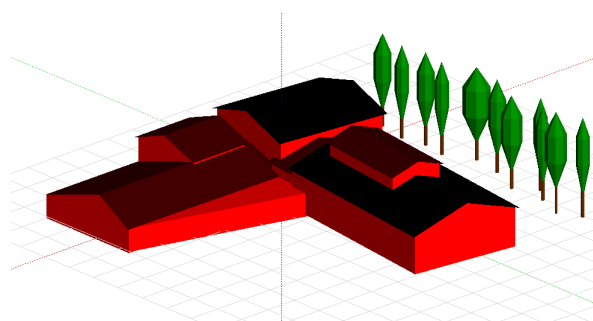
Med intermittent styrning är pumpen antingen avstängd eller går på full effekt. Om systemet dimensioneras för full effekttäckning kommer intermittent styrning leda till många av- och påslag, vilket sliter på kompressorn. Med varvtalsstyrning kan pumpens effekt anpassas kontinuerligt och då operera på lägre effekt, vilket ökar verkningsgraden. Vidare tillåts systemet arbeta mot en lägre genomsnittlig temperatur vilket enligt undersökningar ökar årsvärmefaktorn med 2 %/°C. Årsvärmefaktorn är förhållandet mellan pumpens elförbrukning och värmen som nyttjas från berget (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

I studien har tre alternativ av bergvärmepumpar undersökts som möjlig lösning. Alternativ 1 motsvarar en traditionell lösning och är en intermittentlyrd bergvärmepump med effekttäckningsgrad på 69 %. Alternativ 2 och 3 är varvtalsstyrda bergvärmepumpar vilka skiljer sig åt i effekttäckningsgrad på 70 respektive 100 %. Alternativen har utvärderas och jämförts ur ett tekniskt och ett ekonomiskt perspektiv. De ekonomiska aspekterna som beaktas är drift- och installationskostnader. De installationskostnader som inkluderas är borring inklusive kostnad för foderrör samt kostnader för pump (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

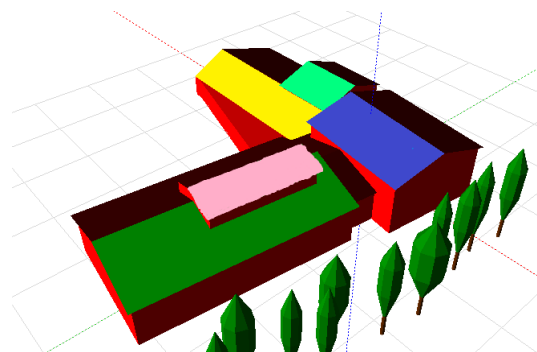
För att utvärdera bergvärmepumpen har en modell av hela husets värmesystemet med ventilation, transmission och gratisvärme byggts upp. Den körs mot utomhustemperaturserier från Uppsala flygplats mellan åren 2008-2017. Utifrån det ges husets totala värmebehov och värmepumpens elförbrukning genom att dividera det totala värmebehovet med årsvärmefaktorn. För varmvattenuppvärmningen beräknas elförbrukningen separat (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

2.8 Dimensionering av solcellsanläggning

För optimal producerad effekt används monokristallina solceller av kiselkristall. Dessa har en verkningsgrad som varierar från 14 upp till 20 % och tillhör den effektivaste solcellstekniken på marknaden (Andersson, Robertsson och Wänlund 2018). I ett simuleringsprogram ritas skolan upp, se figur 1, vilket möjliggör undersökning för möjlig solesproduktion på de olika takytorna. I simuleringarna används solcellsmoduler från JinkoSolar med en installerad effekt på $320 W_p$, där W_p är den maximala effekten, och växelriktare från SolarEdge. Varje intressant tak undersöks med avseende på årsproduktion, installerad effekt, specifik produktion och prestandakvot. Även installationskostnad och återbetalningstid beräknas för varje tak (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018). Den specifika produktionen säger hur hög produktion som erhålls per installerad kW_p , vilket avgörs av modulernas placering och vinkel. Desto högre prestandakvot ett system har desto närmare är systemet att uppnå optimal produktion med avseende de lokala förutsättningarna (PVsyst 2018).



Figur 1: Junkils nya skola uppritad i simuleringsprogrammet.



Figur 2: De intressanta taken som undersökts för solcellsanläggningen.

Figur 2 illustrerar de tak som anses vara intressanta för installationer. För att fastställa optimal installerad effekt simuleras taken dels individuellt, dels i kombination med varandra för att testa olika scenarion. De tak som omfattas i de olika scenarierna är:

- Scenario I - Blå

- Scenario II - Blå, rosa, gul, turkost och grönt
- Scenario III - Blå, rosa, gul och turkost
- Scenario IV - Blå, rosa och turkost

Installationskostnad och återbetalningstid beräknas för att bedöma lönsamheten för valda installationer. Återbetalningstiden uppskattas genom att beräkna nuvarande elkostnad och relatera denna till intäkten för såld solcell. Vid beräkningen antas att ett investeringsstöd erhålls på 30 % av totala installationskostnaden (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018).

Under byggnationen av skolan finns en tillfällig parkering som har goda förutsättningar för solcellproduktion med få skuggande objekt. Efter analys upptäcks en potential för en carport som kan kombineras som parkeringsplats och solcellsanläggning. I denna skulle laddstationer för fordon kunna integreras (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018).

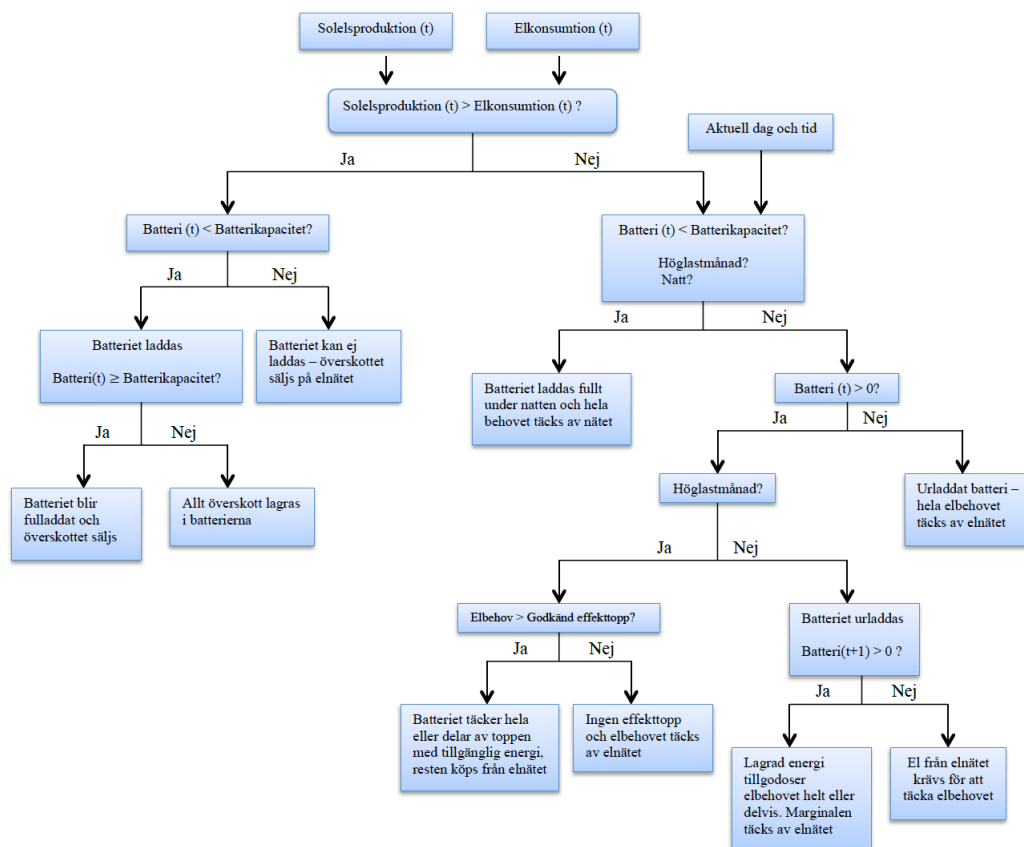
Som tidigare nämnt baseras simuleringsmodellens proportioner och byggnadens placering på ritningar, med detta kommer osäkerheter i hur väl verkligheten återspeglas (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018).

2.9 Dimensionering av batterilager

I delrapporten om batterilagringstekniker genomförs en undersökning för att fastställa vilken batteriteknik som är bäst lämpad för skolans verksamhet. Fyra tekniker jämförs: litiumjon-, blysyra-, saltvattenbomull- och flödesbatterier. Litiumjonbatterier och blysyrabatterier är batteritekniker som har dominerat batterimarknaden de senaste decennierna, medan saltvattenbomullsbatterier och flödesbatterier är mindre vanliga tekniker (Carlsson, Olofsson och Roos 2018).

I den jämförande studien mellan de olika batterierna anses säkerhet, livslängd, effekt och miljöpåverkan vara viktiga egenskaper. Energidensitet är en egenskap som anses vara av mindre vikt eftersom batteriet avses användas för stationärt bruk. Vidare undersöks hur batteriet på bästa sätt kan användas på skolan. Olika alternativ för batteriets användning undersöks, däribland hur solelsanvändningen kan optimeras och om det är möjligt att kapa effekttoppar. Vid tidpunkter då effektbehovet är stort betalas en extra högbelastningsavgift och genom att minska överförd effekt till fastigheten genom användning av lagrad energi kan den extra avgiften undvikas (Carlsson, Olofsson och Roos 2018).

För att avgöra vilket styrsätt som är mest lämpligt analyseras skolans elförbrukning och dessutom hur solelsproduktionen varierar över året. En modell upprättas enligt logiken i figur 3 för att de olika användningssätten ska kunna studeras, vilken sedan används för att dimensionera batteriet. Beroende på om solelsproduktionen är större eller mindre än behovet kommer olika åtgärder att kopplas in. I figuren betecknas tidsberoende storheter med t och lådor med frågetecken representerar ett eller flera påståenden som beroende på om påståendet är sant eller inte aktiverar olika åtgärder. En effekttopp definieras i modellen som en förbrukning som är större än ett specificerat värde (Carlsson, Olofsson och Roos 2018).



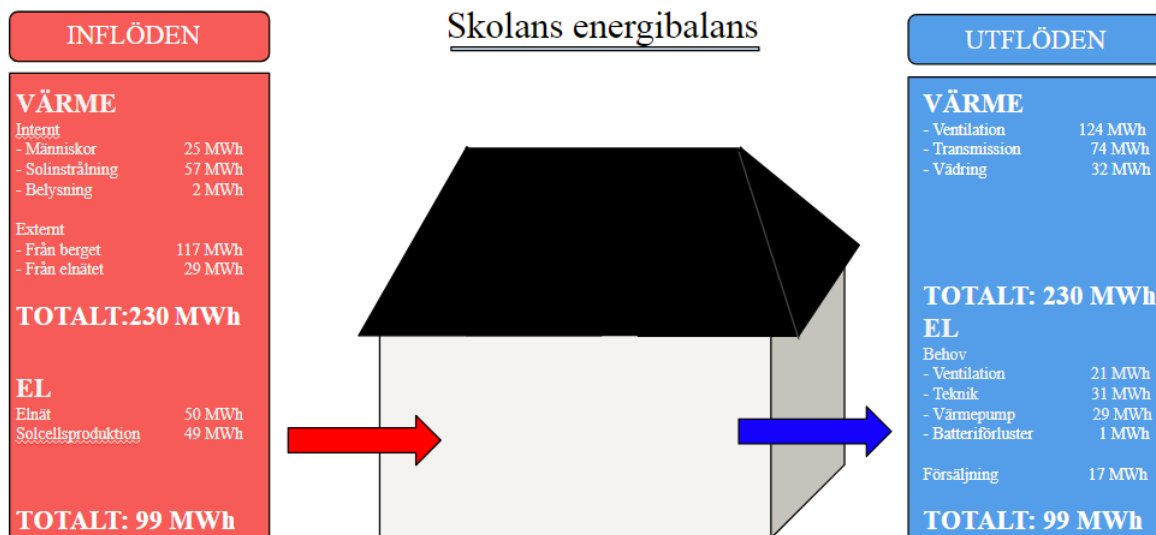
Figur 3: Förenklad bild över batterimodellens uppbyggnad och beslutsstruktur

Ett antagande som görs i modellens uppbyggnad är att upp- och urladdningstid inte varierar med laddningsdjup och dessutom antas ur- och uppladdningstid vara lika långa. För att kunna beräkna en investeringskostnad antas en installationskostnad på cirka 6000 kr/kWh. Detta för att installationskostnaden kan variera mellan cirka 3000-8000 kr/kWh (IRENA 2017).

3 Resultat

3.1 Energiflöden

De energiflöden som beräknats för huset framgår i figur 4 och speglar de genomsnittliga flödena för åren 2008-2017. För att underlätta redovisningen av data har en uppdelning gjorts mellan värme- och elbalansen, utifrån vilka en självförsörjandegrad beräknas för respektive del. Självförsörjandegraden för värme ges som förhållandet mellan den värme som inte behöver köpas i form av el från elnätet och det totala värmebehovet. Det totala värmebehovet uppgår till 230 MWh och värmetillskottet, exklusive det som tas från elnätet, till 201 MWh. Detta ger en självförsörjandegrad på 87 %. På samma sätt bestäms självförsörjandegraden av el som förhållandet mellan den egenproducerade och det totala elbehovet. Det totala elbehovet består av el till ventilation, värmepump, basförbrukning samt batteriförluster och uppgår till 82 MWh. Den utnyttjade egenproducerade elen från solcellerna är 31 MWh, vilket ges som produktionen på 49 MWh minus försäljningen på 17 MWh och en batteriförlust på 1 MWh. Detta ger en självförsörjandegrad på 38 %.



Figur 4: Skolans energiflöden

Energianvändningen beräknas till 28 kWh/m² vilket innebär att kravet för energianvändningen uppfylls för nivå Silver. Värmeeffektbehovet beräknas utifrån ventilationsförlusterna, transmissionsförlusterna samt luftläckaget och uppskattas till 35-37 W/m². Därav uppfylls kravet för nivå Silver för värmeeffektbehovet. Enligt den modell som togs fram uppfyller skolans solvärmelast kraven för miljöklass Silver. Det maximala solvärmelasttalet under ett medelår uppgår till 41 W/m² vilket är lägre än miljöklassens gräns.

3.2 Bergvärmepump

Som värmesystem för Junkils nya skola väljs en varvtalsstyrd bergvärmepump med effekttäckningsgrad på 100 %. För att erhålla ett driftsäkert system väljs dessutom två mindre bergvärmepumpar av denna typ istället för en större (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Under tidsperioden 2008-2017 är det under år 2010 som både högst energiförbrukning och högst effektbehov noteras. Det är också ett avvikande år med ovanligt kalla temperaturer. För att försäkra att värmepumparna kan leverera tillräcklig effekt, även under ett avvikande år, dimensioneras de utifrån behovet för år 2010 (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Genom simuleringar av värmesystemet i den framtagna modellen har värmepumparnas energiförbrukning beräknats för åren 2008-2017. I beräknad driftdata inkluderas värmebehovet för uppvärmning av byggnaden och tappvarmvatten. Beräknad driftdata redovisas i tabell 1. För uppvärmningen har årsvärme-faktorn 5,07 använts och för varmvatten 3,31.

Tabell 1: Energiförbrukning för värme och varmvatten i byggnaden under 2008-2017.

Årtal	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Medel
Värme [MWh]	136	149	178	141	152	148	136	133	143	142	146
- från berg	107	120	143	113	122	119	109	107	115	114	117
- från elnät	29	29	35	28	30	29	27	26	28	28	29
VV [MWh]	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
- från berg	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
- från elnät	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Som uppvärmningssystem väljs golvvärme och därför kan Skolfastigheters normala måltemperatur sänkas från 21 till 20 °C. För att kontrollera om måltemperaturerna efterlevs redovisas de simulerade genomsnittliga inomhustemperaturen i tabell 2 (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Tabell 2: Husets genomsnittliga inomhustemperaturer månadsvis under åren 2008-2017.

Månad	jan	feb	mars	april	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	årligen
Temperatur [°C]	20,0	20,0	20,3	20,7	21,1	21,3	21,4	21,2	20,9	20,4	20,0	20,0	20,6

Kostnaderna för de tre alternativen som undersöks i studien presenteras i tabell 3. Lösningen som har valts för Junkils nya skola motsvaras av alternativ 3 och har en investeringskostnad som är 126 000 kr högre jämfört med alternativ 1, men har en årlig driftkostnad som är 10 625 kr lägre relativt alternativ 1. Kostnaden för borrhål skiljer sig inte avsevärt mellan de tre alternativen då den största kostnaden uppstår vid borrning av ett nytt hål och alla undersökta alternativ kräver lika många borrhål. Med aktivt borrhål menas den del av borrhålet som kan användas för att nyttja värmeenergi. Eftersom pumpens livslängd är åtminstone 15 år, ofta 20-30, är det den mest lönsamma lösningen. (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

En kostnadsjämförelse för de tre alternativen som undersöks i studien presenteras i tabell 3. Lösningen som valts för Junkils nya skola motsvaras av alternativ 3 och har en investeringskostnad som är 126 000 kr högre jämfört med alternativ 1. I kostnaden inkluderas pump och borrhål och skillnaden beror till övervägande del av olika dimensionering av pump. Fördelen med alternativ 3 är istället den lägre årliga driftkostnaden som ger en årlig besparing på 10 630 kr jämfört mot alternativ 1. Eftersom pumpens livslängd är åtminstone 15 år, ofta 20-30, ges därför besparingar över installationens livslängd. (Hahne, Larsson och Lindén Magnusson 2018).

Tabell 3: Kostnadsjämförelse.

Alternativ	Styrning	Effekt [kW]	Effekttäckningsgrad [%]	Kostnad [tkr]	Årlig besparing [kr]
1	on/off	54	68	620	0
2	varvtal	55	70	615	2 150
3	varvtal	79	100	746	10 630

3.3 Solcellsanläggning

I tabell 4 presenteras simuleringsresultaten över de undersökta scenarierna med avseende på produktion och ekonomiska förutsättningar (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018).

Tabell 4: Jämförelse av produktion och ekonomi mellan de fyra scenarierna.

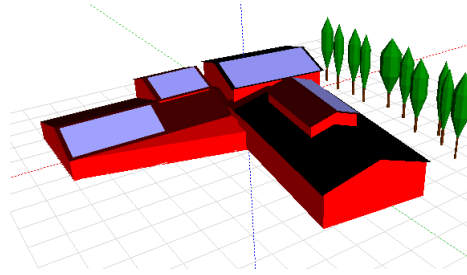
Scenarier	Produktion [MWh]	Installerad effekt [kW _p]	Specifik produktion [kWh/kW _p]	Installationskostnad [tkr] ^a	Återbetalningstid [År]
I	19,4	21,8	904	268	10,28
II	66,1	77,4	853	952	10,71
III	49,1	54,4	902	669	10,13
IV	35,1	40,0	882	492	10,42

^a Inklusive investeringsstöd på 30 procent av den totala installationen.

Tabell 4 visar att scenario I och III har en hög specifik produktion och samtidigt en relativt kort återbetalningstid. Då scenario III har den kortaste återbetalningstiden samt en hög specifik produktion bedöms scenario III som det bättre alternativet. I figur 5 illustreras vilka tak som täcks och i tabell 5 presenteras resultatet för scenario III. Totalt täcks 340 m² av taket vilket motsvarar 170 stycken moduler.

Tabell 5: Data för den valda solcellsanläggningen.

Årsproduktion [MWh]	Installerad effekt [kW _p]	Specifik produktion [kWh/kW _p]	Prestandakvot	Investeringskostnad [tkr]	Återbetalningstid [År]
49,1	54,4	902	0,876	669	10,1



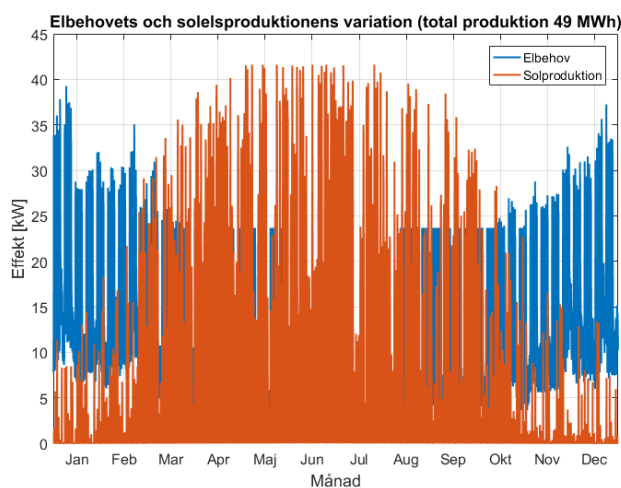
Figur 5: Illustration över vald solcellsanläggning.

Utöver den valda solcellsanläggningen undersöks även den potentiella carporten. Carporten täcks med 40 moduler motsvarande 80 m^2 med sammanlagd installerad effekt på 13 kW_p . Dess azimutvinkel¹ är 2° och panelerna kan vinklas 45° . Årsproduktion är $12,4 \text{ MWh}$, specifika produktion 969 kWh/kW_p och prestandakvoten $0,874$. Installationskostnaden är cirka $160\,000 \text{ kr}$ och återbetalningstiden beräknas till $9,4$ år. I carporten finns plats för 20 personbilar. Ett uppförande av en sådan carport är inte motiverad idag utan kan bli möjlig då elbehovet ökar (Hahne, Robertsson och Wänlund 2018).

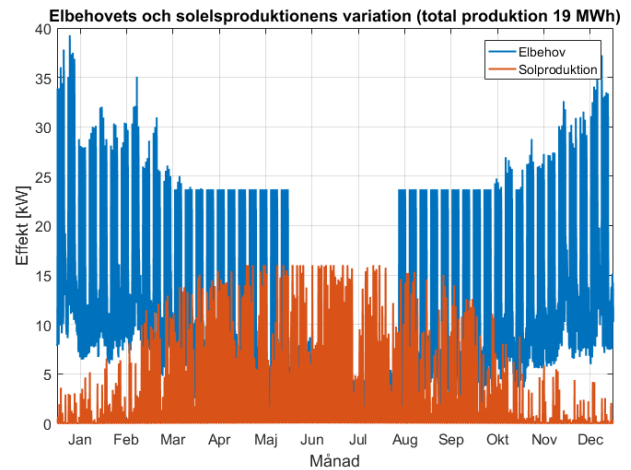
3.4 Batterilager

Efter en jämförelse mellan de olika batteriteknikerna anses flödesbatteritekniken vara bäst lämpad för Junkils nya skola eftersom denna teknik har längst livslängd, låg brandrisk och låg miljöpåverkan jämfört med blysyra- och litiumjonbatterier. Flödesbatterier är en relativt ny teknik på den kommersiella marknaden och dess marknadsandel förväntas växa. Den typ av flödesbatteri som väljs är ett vanadin redox-batteri (Carlsson, Olofsson och Roos 2018).

Den valda solcellsanläggningen har en årlig produktion på 49 MWh . För att kunna utnyttja den producerade soelen så mycket som möjligt internt är det önskvärt att kunna lagra den till ett tillfälle då solelproduktionen är låg och elförbrukningen är hög. I figur 6 presenteras hur elbehovet och producerad solel varierar över året med en årsproduktion på 49 MWh . Det produktionsscenario som har näst kortast återbetalningstid är scenario I (se avsnitt 3.3), vilket ger en årsproduktion på 19 MWh . I figur 7 visas hur elbehovet och solelproduktionen varierar över året med en total solelproduktion på 19 MWh (Carlsson, Olofsson och Roos 2018).



Figur 6: Elbehovets och solelproduktionens variation över året enligt scenario III.



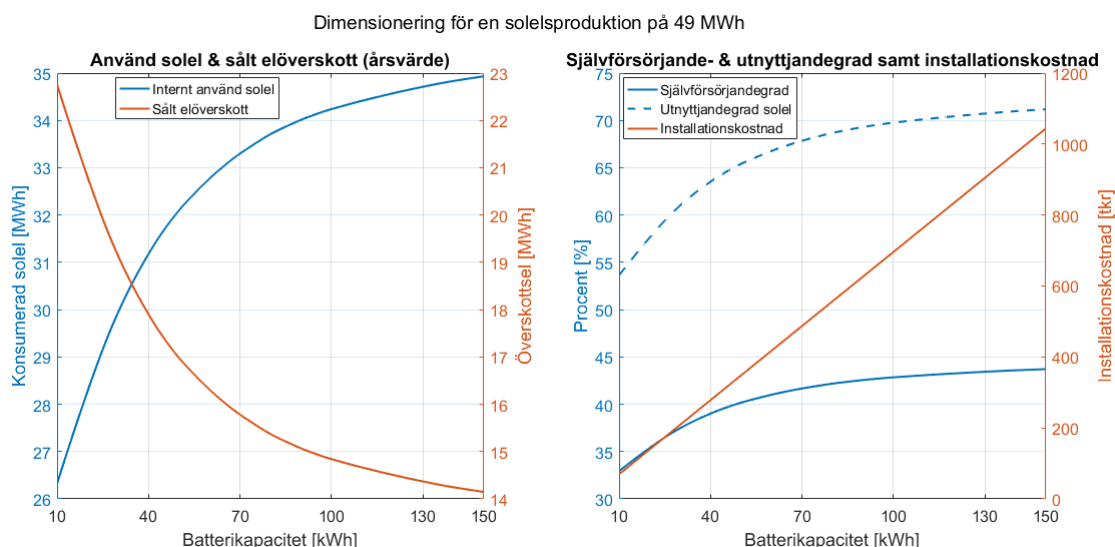
Figur 7: Elbehovets och solelproduktionens variation över året med en årsproduktion enligt scenario I.

Från figur 6 framgår att den valda solcellsanläggningen under sommartid kommer bidra med ett stort överskott av solel i och med att elbehovet är lägre än solelproduktionen. Även scenariot med en mindre

¹Azimutvinkeln är horisontalplanetns vinkel beräknad medsols från sydläge

solelproduktion i figur 7 medför ett överskott av el sommartid.

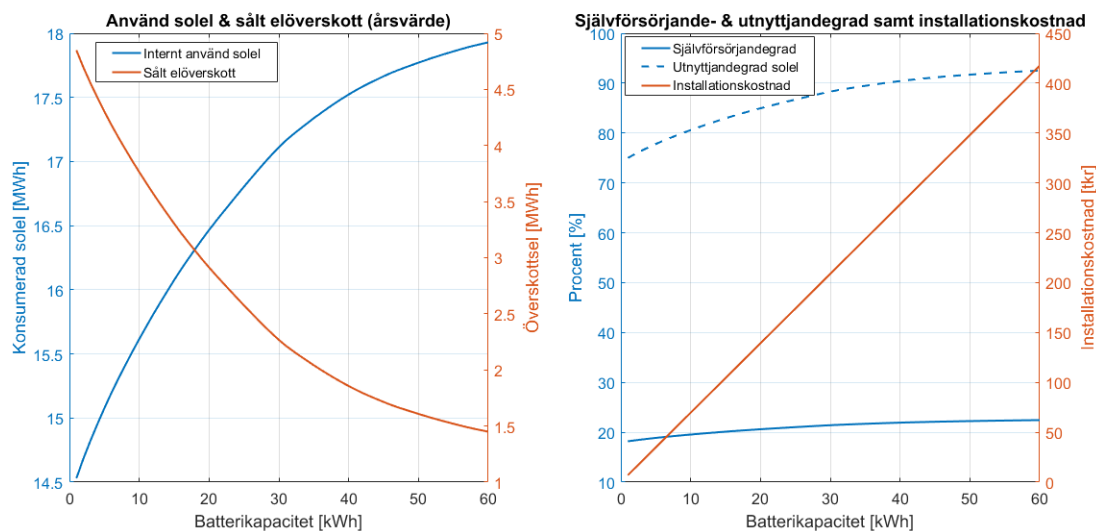
I figur 8 undersöks hur internt använd solem och sålt elöverskott varierar med olika batterikapaciteter för scenario III. Även hur självförsörjande- och utnyttjandegraden samt installationskostnaden varierar med batterikapaciteten undersöks.



Figur 8: Till vänster presenteras hur använd solem och sålt elöverskott varierar med olika batterikapaciteter för scenario 3. Till höger presenteras hur självförsörjandegraden av el, utnyttjandegraden av solem samt installationskostnaden varierar med batterikapacitet.

Genom att studera figur 8 framgår att en avvägning mellan installationskostnad och användningen av producerad solem är nödvändig. Både självförsörjande- och utnyttjandegraden planar ut vid kapaciteter över cirka 100 kWh samtidigt som installationskostnaden är en linjär funktion. För att få så stor nytta av investeringen som möjligt bör kapaciteten på installerat batterilager därmed ej överstiga 100 kWh. I intervallet 10-40 kWh batterikapacitet ses en stor ökning av utnyttjandegraden samt använd solem. Därav är ett lämpligt intervall för batterikapaciteten 40-100 kWh. Beroende på budget kan valet begränsas till övre eller under halvan av detta intervall. För denna studie väljs en batterikapacitet på 60 kWh för att hålla ner investeringskostnaderna. Vilken tillgänglig effekt batteriet ska kunna leverera eller ta emot beror av hur stora effektoppar som önskas planas ut. Genom att studera hur den simulerade elförbrukningen varierar över ett år bestäms att en effekt på 10-15 kW är lämplig för att minska effektopparna de dagar med störst effektbehov, i detta fall väljs en effekt på 15 kW. En annan dimensionering av batterilaget får göras om solelproduktionen istället är 19 MWh per år, denna presenteras i figur 9.

Dimensionering för en solesproduktion på 19 MWh



Figur 9: Undersökning av lämplig batteristorlek för en årlig solesproduktion på 19 MWh.

Ur figur 9 dras slutsatsen att en batterikapacitet större än 30 kWh inte är motiverbar med en solesproduktion på 19 MWh, utan istället bör ligga i intervallet 10-30 kWh. För denna studie antas en batterikapacitet på 20 kWh med en effekt på 10 kW.

I tabell 6 presenteras en jämförelse av de olika elflöden som erhålls med ett batterilager på 60 kWh för scenario III respektive ett batterilager på 20 kWh för scenario I. Båda scenarierna jämförs mot ett alternativ utan batterilager.

Tabell 6: Jämförelse av elflöden med och utan batterilager för respektive scenario.

Elföden (årsvärden)	Batteri 60 kWh	Utan batteri	Batteri 20 kWh	Utan batteri
Sålt överskott [MWh]	17	33	3	14
Inköpt el [MWh]	50	65	65	76
Internt använd solex [MWh]	31	16	16	5
Självförsörjandegrad av el [%]	38	19	20	6
Utnyttjandegrad solex [%]	64	32	84	25

Vidare undersöks två driftssätt för de två batteriscenarierna. Det första driftssättet går ut på att under höglasttid, som gäller vardagar 06:00-22:00 under november-mars, kapa effekttoppar för att minska abonnemangsavgiften. Från figur 6 ses att solexproduktionen under dessa månader är låg och det finns därmed inget överskott att ladda batteriet med. Istället laddas batteriet med el från elnätet på natten då elpriset är lägre. Övrig tid på året används batteriet för att lagra så mycket överskottsel som möjligt och använda denna när det finns ett behov, med andra ord maximera utnyttjandegraden. Detta driftsscenario benämns i fortsättningen som driftssätt A. Det andra driftssättet är att under hela året endast lagra överskottsel vilket innebär att batteriet kommer vara oanvänt under vintermånaderna då elöverskottet är lågt eller obefintligt, detta driftssätt benämns driftssätt B. I tabell 7 presenteras den besparing som görs med de två driftssätten jämfört med att inte ha något batteri. Samma jämförelse görs även för det mindre batterilagret med en kapacitet på 20 kWh.

Tabell 7 förmedlar att driftsscenario A är det bättre alternativet även om skillnaden mellan driftssätten är små. Vidare kan det konstateras att det mindre batterilagret, för en årsproduktion av solex på 19 MWh, har högre lönsamhet än det större batteriet baserat på 49 MWh solexproduktion per år.

Ett batterilager på 60 kWh medför en investering på ungefär 360 000 kr och det mindre batterilagret på 20 kWh cirka 120 000 kr. Om hänsyn tas till den minskade försäljningsintäkten av solex då ett batterilager implementeras ses från tabell 7 att en investering i ett batterilager inte är ekonomiskt motiverbar.

Tabell 7: Jämförelse av två driftsätt (A & B) för undersökta batterikapaciteter. Observera att de olika batterikapaciteterna bygger på olika solesproduktionsscenario.

Driftsätt	A 60 kWh [Kr]	B 60 kWh [Kr]	A 20 kWh [Kr]	B 20 kWh [Kr]
Total besparing av inköpt el inkl. sänkt abonnemangsavgift	12 650	12 000	9 400	8 600
Intäkt såld solex med batterier	16 800	16 500	2 900	2 900
Intäkt såld solex utan batterier	28 900	28 900	11 300	11 300
Differens intäkt solex	-12 100	-12 400	-8 400	-8 400
Årlig besparing med hänsyn till minskad försäljning	550	-300	1 000	300

4 Diskussion

I enlighet med Skolfastigheters engagemang för hållbarhet väljs en lösning med modern varvtalsstyrning och full effekttäckningsgrad. För att optimera driftsäkerheten inkluderas två varvtalsstyrda värmepumpar i lösningen. Kombinationen av varvtalsstyrning och full effekttäckning innebär att uppvärmningen av huset ligger i framkant av teknisk utveckling. Det är även den lösning med högst årsvärmefaktor. Med full effekttäckningsgrad elimineras dessutom behovet av spetsvärmekälla, vilket kraftigt minskar energibehovet under kalla dagar. Den ekonomiska utvärderingen visade också på en årlig besparing som motiverar den högre investeringskostnaden av den valda lösningen.

Ur ett miljöperspektiv är en nackdel med den valda lösningen att materialåtgången ökar till följd av att två värmepumpar används istället för en. Å andra sidan sparar lösningen energi under drift. En livscykelanalys skulle kunna göras för att ytterligare utvärdera systemlösningens miljöpåverkan.

I husets värmebalans har inget kylsystem tagits i beaktning. Skulle ett sådant implementeras finns potential att öka verkningsgraden för uppvärmning av huset. Vid kylning av huset flyttas energi från huset till borrhålet. På så vis uppstår en typ av återladdning av borrhålet genom att höja dess temperatur. Den energin kan sedan utnyttjas då huset behöver värmas igen. Ytterligare en möjlighet för att höja uppvärmningens verkningsgrad är att använda solfångare. Genom att pumpa ner varmt vatten i borrhålet skulle en liknande effekt som vid användningen av ett kylsystem uppstå. Detta skulle kunna utgöra ett komplement till solexproduktionen.

Inom en snar framtid förväntas variabla energikällor dominera Sveriges elproduktion. Därmed kommer en framtida utmaning bli att ta hand om effekttoppar på elnätet. Den valda varvtalsstyrningen minskar effekttoppar och hjälper därmed till att avlasta elnätet.

Vidare finns en viss osäkerhet i energikartläggningen som bör kommenteras. I figur 4 presenteras bland annat energitillskottet från solinstrålning. Detta energitillskott uppgår till 57 MWh/år och relativt värmeförlusterna från ventilation och transmission är energitillskottet stort. Om tillskottet av värme från solen är beräknat i överkant skulle det kunna innebära att värmepumpen är underdimensionerad. På grund av detta skulle också elförbrukningen vara beräknad i underkant, vilket hade påverkat dimensioneringen av solcellsanläggningen och batterilaget. Den mesta av solinstrålningen tillkommer däremot under sommaren och stora delar av detta tillskott tillgodogörs ej av huset utan ventileras bort. Därav bör inte resultatet nämnvärt påverkas av osäkerheten i det beräknade värmelitillskottet från solen. Genom att införa en mer avancerad beräkningsmodell skulle ett noggrannare resultat erhållas, det måste dock vägas mot projektets begränsade tidsplan.

Från undersökningen av de olika solcellsscenarierna framgår att takens potential för att producera solex är god och därmed är det gynnsamt att placera solcellspaneler på fler takytor än vad som finns idag och på så sätt utnyttja byggnadens solresurs. Simuleringarna som utförs visar att kombinationen av de valda taken ger hög årsproduktion, hög specifik produktion och kort återbetalningstid. Efter cirka elva år är investeringen intjänad och under resterande del av anläggningens livslängd genereras gratis el till verksamheten. Produktionsresultaten baseras på simuleringssystemet PVsyst och betraktas som trovärdiga, detta gäller även för de ekonomiska beräkningarna som gjorts utifrån gällande regler och elavtal.

Carporten, som är en aspekt av arbetets framtidsvision, skulle kunna utformas för optimal produktion och ge ett markant tillskott av egenproducerad el. I anslutning till carporten skulle laddstolpar kunna installeras för att utnyttjas av personal, privatpersoner och kollektivtrafik. På så sätt har Junkils nya skola potential att utgöra ett viktigt bidrag för elektrifieringen av lokalområdets fordonsflotta.

Som nämnt under sektion 3.4 väljs flödesbatterier som batteriteknik och detta baseras på att tekniken har en lång livslängd, är säker och har en låg miljöpåverkan jämfört med litiumjon- och blysyrbatterier. I tabell 7 presenteras den årliga ekonomiska lönsamheten för batteristorlekarna 20 kWh och 60 kWh. Kombinationen med den lägre installerade effekten hos solcellerna och det mindre batteriet resulterar i mer besparingar vid de båda driftsätten. Från samma tabell kan det också konstateras att driftsätt A ger en något större ekonomisk besparing än driftsätt B i båda produktionsscenarierna. Något som måste tas i beaktande är att dessa siffror beror av dagens elpris.

Med batterier säljs mindre sole, samtidigt som mindre el från nätet behöver köpas. Med hänsyn tagen till detta är de årliga besparingarna i spannet 300-1000 kronor beroende på scenario och driftsätt, och i ett fall erhålls en förlust på 300 kr. Eftersom investeringen är i storleksordningen hundratusentals kronor går inköpet av batteri inte att motivera ur en ekonomisk synvinkel, då återbetalningstiden blir längre än livslängden på batteriet. För att det ska vara gynnsamt att integrera batterier i ett system med solceller måste det bli dyrare att köpa el på nätet, alternativt höjda effekttariffer, så att det lönar sig att ta tillvara på största möjliga mängd sole. En annan faktor som skulle kunna motivera inköpet av ett batteri vore om priset för såld sole från fastigheter sjönk. Detta hade varit ett intressant fall att undersöka med studiens framtagna batterimodell, däremot lämnas detta som en rekommendation för framtida undersökningar. Ett annat intressant fall vore om elen på natten var ännu billigare relativt priset på dagen. Under driftläget då batteriet kapar effekttoppar köps el under natten av anledningen att priset är lägre, men idag är inte prisskillnaden stor. Om skillnaden var större skulle denna besparingsmetod varit mer effektiv.

När det gäller valet mellan det större eller det mindre scenariot gällande solelsproduktion och batterikapacitet är lönsamhetsaspekten avgörande. En solelsproduktion på 49 MWh medför den kortaste återbetalningstiden och är ur ett solelsperspektiv det bästa. Samtidigt är det i dagsläget svårt att motivera ett större batterilager på grund av de ekonomiska förutsättningarna. Med det mindre alternativet erhålls en högre utnyttjandegrad samtidigt som investeringskostnaden är lägre och detta alternativ är därmed, sett ur ett lönsamhetsperspektiv, en bättre systemlösning. I framtiden förväntas elmarknaden gå mot högre elpriser och prisvariationerna mellan dag och natt öka. Skulle det även bli mindre lönsamt att sälja sole är det större produktionsscenarioet bättre. Den slutliga avvägningen mellan vilket scenario som är mest lämpligt beror av aktuell investeringsbudget. Det mindre produktions- och batterialternativet tar avstamp i en lösning som kan motiveras med dagens förutsättningar och det större alternativet bör ses som en lösning som kan hantera framtidens utmaningar.

Även om det inte finns någon stor ekonomisk vinning i att investera i ett batterilager finns det andra faktorer som motiverar en sådan lösning. Syftet med projektet är att hitta en modern och nytänkande lösning och då är ett batterilager med flödesbatterier en bra investering. Flödesbatterier förväntas öka på batterimarknaden de kommande åren och genom att välja denna typ av batteriteknik ligger skolan i framkant. Utan batterilagret hade inte skolan kunnat ta tillvara på överskottselen från solcellerna, utan allt överskott skulle behöva säljas till nätet. Nu kan skolan lagra en viss del av överskottselen för att använda den vid ett senare tillfälle och på så sätt kan skolan öka sin självförsörjandegrad. Utan batteriet hade det inte heller varit möjligt att kapa effekttoppar under vinterhalvåret då solelsproduktionen är låg.

Ett användningsområde för batteriet som studien inte berör är möjligheten att lagra stora mängder solelsöverskott från sommaren till vintern. Motivering till varför detta utesluts är för att detta hade krävt en väldigt stor kapacitet på batteriet vilket inte skulle vara en rimlig investering med dagens batteripriser. Dessutom finns det andra tekniker som är bättre lämpade för en sådan uppgift.

Ett annat perspektiv av systemlösningen som är viktig att belysa är det pedagogiska. Med ett energisystem som inkluderar bergvärme, solceller samt batterilager kan elever och anställda inspireras till att tänka hållbart. För att involvera barnen i tidig ålder kan energidisplayer installeras som visualiserar både energiförbrukning såväl som den producerade energin från solcellerna. Displayernas syfte är att visa hur mycket värme och el som förbrukas i realtid eller på dagsbasis. Vidare kan verktygen användas till energieffektiviserande experiment som hålls några gånger per år. Exempelvis kan eleverna under en dag

testa att stänga av stationära datorer när de inte används alternativt koppla ur laddare för elektroniska apparater för att se om energiförbrukningen minskar. Resultaten av experimenten kan presenteras genom pedagogiska jämförelser där läraren kan jämföra den sparade energin med något som barnen kan relatera till. På så sätt kan ett energismart tänk introduceras till både lärare och elever, och ett intresse för teknik kan etableras.

5 Slutsats

En systemlösning med en bergvärmepump, solcellsanläggning och batterilager har dimensionerats för Junkils nya skola. Bergvärmepumpen har en effekt på 79 kW, utnyttjar golvvärme och är varvtalsstyrd. Det är både den mest energieffektiva och mest ekonomiskt lönsamma lösningen. En undersökning av skolans tak visar att flertalet av dessa har bra förutsättningar för elproduktion. En anläggning med en installerad effekt på 55 kW_p bedöms vara det bästa investeringsalternativet sett till återbetalningstid. För en sådan solelsanläggning rekommenderas ett batterilager med en kapacitet på 60 kWh. Ett sådant batterilager medför en stor investeringskostnad och ett möjligt alternativ är att istället installera en solcellsanläggning på 22 kW_p. Det medför att batterilagrets storlek kan minskas till 20 kWh. Den mindre anläggningen bör ses som ett alternativ med lägre investeringskostnader som är lämpligt utifrån dagens förutsättningar medan den större anläggningen ses som ett alternativ som är bättre med ökade elpriser och nätavgifter. Vidare rekommenderas att batterilagret under vintertid laddas med el från elnätet under natten för att reducera effekttoppar dagtid. Övrig tid under året lagras överskottet av solen för att kunna användas vid behov.

Den framtagna systemlösningen för Junkils nya skola har som mål att vara en förebild för ny- och ombyggnationer av skolor i framtiden. Systemlösningen baseras på hållbar och energieffektiv teknik som dessutom kan inkluderas i utbildningen och inspirera nästa generation att bidra till ett hållbart samhälle.

Referenser

- Andersson, Frida, Richard Robertsson och Jessica Wänlund (2018). *Delrapport 10 - Solceller*.
- Boverket (2015). *9 Energihushållning*. URL: <http://www.boverket.se/globalassets/vagledning/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-9>.
- (2017). *Energikrav*. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energikrav/>.
- Carlsson, Johanna, Hanna Olofsson och Pontus Roos (2018). *Delrapport 9 - Batteri*.
- Carlsson, Johanna, Pontus Roos och Jessica Wänlund (2018). *Delrapport 6 - Ventilationssystem*.
- Dahlblom, Mats och Catarina Warfvinge (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Swedish. 1. utg. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-05561-9;
- Hahne, Linnéa (2018). *Delrapport 2 - Förstudie Bergvärmepump*.
- Hahne, Linnéa och Jesper Larsson (2018). *Delrapport 7 - Transmission*.
- Hahne, Linnéa, Jesper Larsson och Josephine Lindén Magnusson (2018). *Delrapport 8 - Bergvärmepump*.
- Hahne, Linnéa, Richard Robertsson och Jessica Wänlund (2018). *Delrapport 12 - PVsyst*.
- IRENA (2017). *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. URL: <http://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets> (hämtad 2018-04-24).
- Lindén Magnusson, Josephine och Hanna Olofsson (2018). *Delrapport 5 - Gratisvärme*.
- Miljöbyggnad (2014). *Sammanfattning av betygskriterier för nyproducerade byggnader - Miljöbyggnad version 2.2*. URL: <https://www.sgbc.se/docman/miljobyggnad-2014/446-sammanfattning-betygskriterier-mb-nyprod-2-2-141104/file>.
- Nord Pool (2018). *Day-ahead prices*. URL: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/SE/Hourly/?dd=SE3&view=table> (hämtad 2018-05-14).
- PVsyst (2018). *Performance Ratio*. URL: <http://files.pvsyst.com/help/index.html?glossary.htm> (hämtad 2018-05-24).
- Roos, Pontus och Jessica Wänlund (2018). *Delrapport 4 - Basförbrukning*.
- SGBC (2017). *Miljöbyggnad 3.0. Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader*. Stockholm: Sweden green building council. URL: <https://www.sgbc.se/docman/bgo-2014/947-3-0-mb-nyproduktion-170510-vers-170915/file>.
- Upplands energi (2018). *Energiskatt*. URL: <https://www.upplandsenergi.se/elavtal/35241.energiskatt.html> (hämtad 2018-05-14).
- Vattenfall (u.å.). *Fjärrvärme i Uppsala*. URL: <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/orter/upsala/>.

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

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