



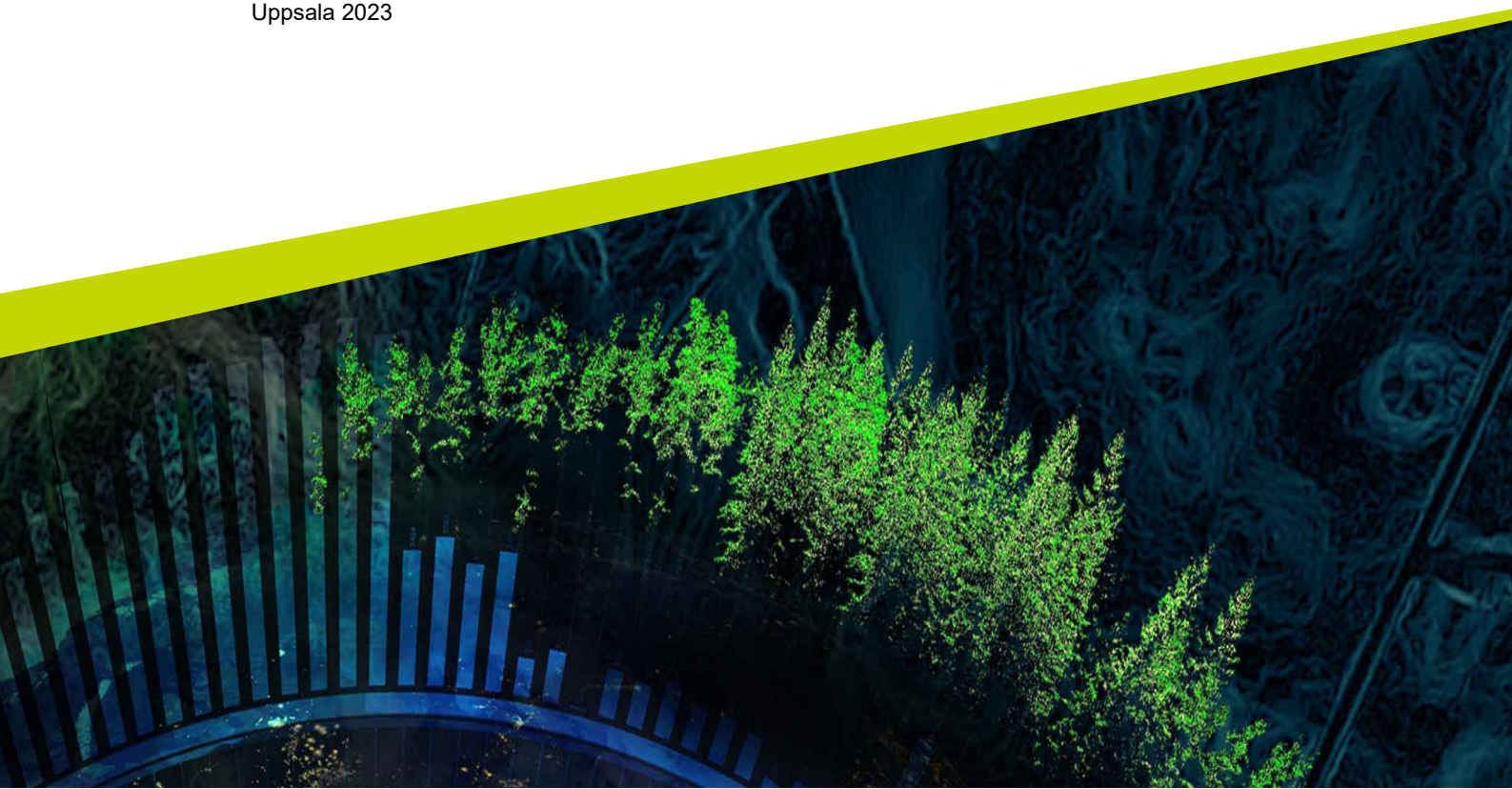
Strömma  
Naturbrukscentrum

# Energieffektivisering och energioptimering av Strömma naturbrukscentrum

---

Filip Berkefelt, Henric Dahl, Ida Hagman, Tilde Levander, Sofia Löwdin, Inga Nordin och Johan Sjöborg

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Civilingenjörsprogrammet inom energisystem  
Examensarbete 2023:08 • ISSN 1654-9392  
Uppsala 2023



# Energieffektivisering och energioptimering av Strömma naturbrukscentrum

*Energy efficiency and energy optimization of Strömma naturbrukscentrum*

Filip Berkefelt, Henric Dahl, Ida Hagman, Tilde Levander, Sofia Löwdin, Inga Nordin och Johan Sjöborg

**Handledare:** Oscar Lagnelöv, SLU, Institutionen för energi och teknik  
**Examinator:** David Ljungberg, SLU, Institutionen för energi och teknik  
Jonas Fransson, Uppsala Universitet, Institutionen för fysik och astronomi

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete inom energisystem  
**Kurskod:** EX0946  
**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet inom energisystem  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för energi och teknik  
**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2023  
**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.  
**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
**Delnummer i serien:** 2023:08  
**ISSN:** 1654-9392  
**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** *batterier, energilagring, värmeförsörjning, solceller, naturbruksskola, värmeproduktion, ackumulatortank*

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

## Abstract

Strömma Naturbrukscentrum is an agricultural high school in southern Sweden. The establishment consists of over 30 buildings which includes student housing, lecture halls and animal housing. Due to its numerous buildings, Strömma faces a high energy demand. To address the high energy demand, this report was undertaken to explore ways to reduce and optimize the energy consumption, as well as find solutions to reduce Strömma's power peaks.

For six of the buildings at Strömma, simulations in the calculation software program VIP-Energy were used to evaluate energy-efficient actions. The goal was to identify potential heat savings and by creating building models and analyzing various measures, the heat consumptions reductions were identified to a maximum of 141.5 MWh per year. An accumulator tank could also help the heat demand and possibly prolong the lifetime of the boilers.

The project also investigated the possibility of implementing solar energy together with energy storage options, such as batteries and hydrogen, this to improve Strömma's energy self-sufficiency. The modelling of the solar panels and the batteries was done in the software SAM (System Advisory Model) and MATLAB. With an assumed capacity of 200 000 kWh, the solar panels were not expected to consistently generate excess electricity beyond Strömma's consumption. It was therefore seen unnecessary to invest in batteries as a solution for energy storage. Hydrogen as a storage option also presented challenges such as requirements of space and high costs associated with the implementation. Both options were therefore considered unsuitable for Strömma.

## Sammanfattning

Strömma Naturbrukscentrum är ett naturbruksgymnasium i södra Sverige som kräver en stor energiförbrukning i sin verksamhet. Anläggningen består av över 30 hus som inkluderar elevborden, lektionslokaler och djurhus. I detta arbete undersöks det hur verksamheten kan minska och optimera sin energiförbrukning. De alternativ som undersöks är hur stor förbättringen blir av olika energieffektiviseringsåtgärder för sex olika byggnader på anläggningen, om deras värmeförsörjning kan bli mer effektiv med en ackumulatortank, hur anläggningen kan bli mer självförsörjande på elektrisk energi genom installation av solceller och möjligheten att optimera det med batterilagring, bränsleceller och vätgas. För att undersöka detta användes VIP-energy, SAM och egna beräkningar i Matlab.

Arbetet visade att de föreslagna energieffektiviseringsåtgärderna för byggnaderna tillsammans kan minska deras värmeförbrukning med 141,5 MWh per år och minska pelletsbehovet motsvarande 70 000 kr/år. En ackumulatortank kan hjälpa till att jämna ut effektbehovet och eventuellt medföra mindre slitage på pannorna. Solcellernas storlek hamnar på 200 000 kWh/år och eftersom produktionen aldrig överstiger konsumtionen är det inte lönsamt att investera i batterilagring. Både vätgas och bränsleceller skulle ta för stor plats och vara för dyra för att det ska vara rimligt att investera i det.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>3</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	3
1.2	Syfte . . . . .	4
1.3	Avgränsningar . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>4</b>
2.1	Lastprofil Strömma Naturbrukscentrum . . . . .	4
2.2	Energieffektivisering av Strömmas byggnader . . . . .	5
2.2.1	Kort översikt över byggnader . . . . .	5
2.2.2	Värmeförluster . . . . .	5
2.2.3	Byggnadens energibalans . . . . .	6
2.3	Energiförsörjning . . . . .	6
2.3.1	Solceller . . . . .	6
2.3.2	Pannor . . . . .	7
2.3.3	Batterier . . . . .	7
2.3.4	Vätgas . . . . .	7
2.4	Reglering . . . . .	9
2.4.1	Akkumulatortank . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>10</b>
3.1	Energieffektivisering av Strömmas byggnader . . . . .	10
3.2	Solceller med Batterilagring, Modellering och simulering i System Advisor Model (SAM) och MATLAB . . . . .	11
3.2.1	System Advisor Model . . . . .	11
3.2.2	Val av väderfil, solinstrålning Strömma Naturbrukscentrum . . . . .	11
3.2.3	Solcellssystem . . . . .	11
3.2.4	Batterilager i SAM . . . . .	12
3.2.5	Övriga inställningar, förluster och simulering . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>13</b>
4.1	Energieffektivisering av Strömmas byggnader . . . . .	13
4.2	Energiförsörjning . . . . .	14
4.2.1	Energiproduktion . . . . .	14
4.2.2	Värmelagring . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>19</b>
6.1	Energieffektivisering av Strömmas byggnader . . . . .	19
6.2	Implementering av akkumulatortank . . . . .	19
6.3	Energiproduktion och lagring . . . . .	19

# 1 Inledning

En av nutidens viktigaste resurser är tillgången på energi. Bostäder och lokaler förväntas vara uppvärmda, samtidigt som majoriteten av den moderna tekniken kräver energi för att fungera. De krav som ställs medför ett stort energibehov, något som belastar planeten hårt. För att uppnå uppsatta miljömål krävs en effektivare användning av energi som samtidigt är hållbar.

Förnybara energikällorna, så som sol och vindkraft, varierar tim-, dygn-, vecko- och säsongsvist. Samtidigt som vattenkraftens tillgångar påverkas av veckovis nederbörds mängd. För att lägga till ytterligare komplexitet varierar även energiförbrukningen utefter timme, veckodag och yttertemperatur.

Denna uppsats genomförs på uppdrag av Strömma Naturbrukscentrum. På Strömma uppstår betydande effektoppar under vardagar, särskilt när skolans restaurang lagar mat och diskar för 200 elever eller när foder blandas till mjölkorna. Framför oss finns nu en viktig fråga: Hur kan Strömma jämna ut och sänka sin energi- och värmeåtgång genom användning av ny teknik och reglering? Genom att ta itu med denna utmaning på ett innovativt sätt och utnyttja moderna lösningar kan Strömma inte bara optimera sin energiförbrukning och värmeanvändning, utan också säkerställa en hållbar och stabil energiförsörjning för framtiden. I denna uppsats kommer vi att utforska olika strategier och tekniker som kan hjälpa Strömma att skapa en balanserad och effektiv energihantering, samtidigt som Strömma kan minimera sin negativa påverkan på miljön.

## 1.1 Bakgrund

Verksamheten Strömma Naturbrukscentrum ligger utanför Sätilia, mellan Göteborg och Borås i en naturskön miljö och ägs av Hushållningssällskapet Sjuhärad med stiftelser. Verksamheten ägnar sig åt naturbruksutbildning på gymnasienivå och är en icke-vinstdrivande organisation som verkar i syfte för kunskapsutveckling på landsbygden (Naturbrukscentrum, u.å.). Verksamhetens fastighet Strömma består av en jordbruksfastighet på drygt 270 hektar med en utbildningsdel. Strömma Naturbrukscentrum utgörs av ett 30-tal byggnader som tillhandahåller allt från djurstall och verkstäder till elevbostäder och utbildningshus. Strömma innehar ett vattenkraftverk samt ett vindkraftverk. Det senare är ur bruk på grund av brist på reservdelar.

Den historiska energiförbrukningen på Strömma Naturbrukscentrum har legat omkring 900 000 kWh per år. År 2022 förbrukade Strömma 907 939 kWh och året innan det, 876 079 kWh. Inom en snar framtid kommer Strömmas nuvarande elabonnemang att löpa ut, vilket motiverar Strömma att aktivt minska sin energiförbrukning och öka produktionen av egen elektrisk energi<sup>1</sup>. För att uppnå detta planerar man primärt att använda solceller för att producera energi och att minska energibehovet genom energieffektiva åtgärder som genomförs på utvalda byggnader i området.

---

<sup>1</sup>Mats Hägglund, Driftchef, Strömma Naturbrukscentrum, muntlig kommunikation 2023-03-29

## 1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att undersöka hur Strömma Naturbrukscentrum kan minska sina effekttoppar och energikonsumtion. Detta genom en energianalys samt undersöka möjligheter till optimering och energieffektivisering av anläggningen.

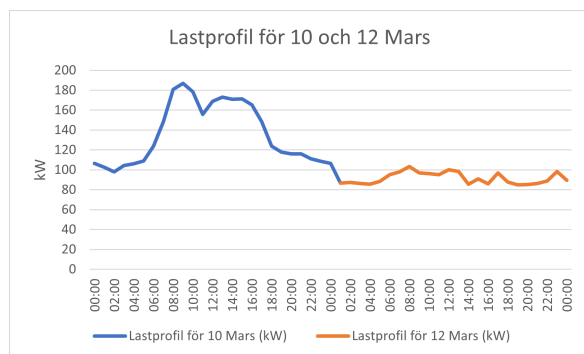
## 1.3 Avgränsningar

I denna rapport har juridiska aspekter inte tagits i beaktande. De kostnader för att implementera rekommenderade åtgärder kommer inte vara i fokus, rapporten syftar mer till tekniska aspekter.

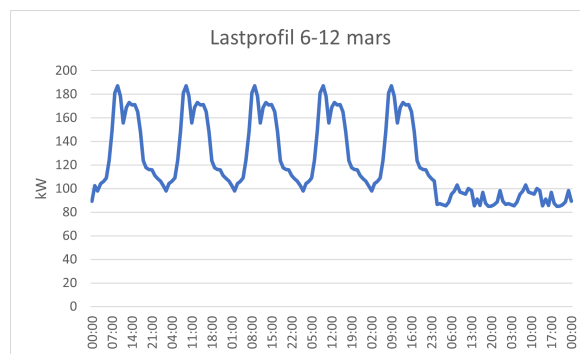
# 2 Teori

## 2.1 Lastprofil Strömma Naturbrukscentrum

Från insamlad data från driftchefen på Strömma kunde två timvisa lastkurvor skapas, se figur 1. I figurerna visas två lastprofiler för två olika veckodagar, den 10:e mars (en fredag) och den 12:e mars (en söndag). Eftersom data för fler dagar inte fanns att tillgå gjordes antagandet att alla vardagar i mars har samma lastprofil som fredagen den 10:e mars hade samt att alla helgdagar i mars har samma lastprofil som söndagen den 12:e mars. Utifrån dessa antagande kunde en lastprofil för en hel vecka tas fram (6-12:e mars), se figur 2. På grund av att Strömma har en jämn energiförbrukning över årets månader gjordes antagandet att lastprofilen i timvis upplösning ser lika ut för alla veckor på året.

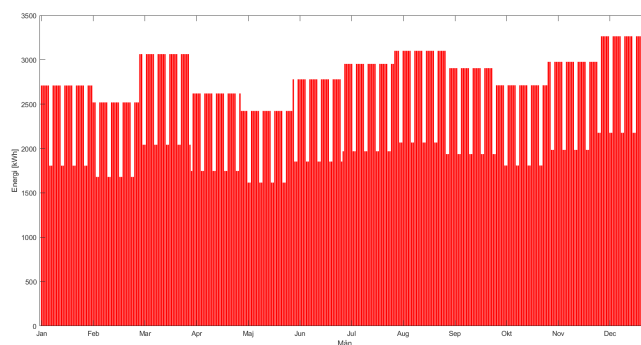


Figur 1: Illusterar förbrukningskurva timme för timme i kWh för en vardag (10:e Mars) och en helgdag (12:e Mars).



Figur 2: Illusterar förbrukningskurva timme för timme i kWh för en vecka i Mars (6:e till 12:e Mars)

Det skapades även en lastkurva för den totala dagliga lasten över ett år, detta kan ses i figur 3. Lastkurvan utgår ifrån den totala dagliga förbrukningen för 10:e och 12:e Mars. Med hjälp av data för anläggningens månadsförbrukning användes linjära samband för modellera månader utanför Mars. Mer om detta finns i delrapport 2.



Figur 3: Visar den konstruerad modell för daglig konsumtion av elektrisk energi i kWh för år 2022 i ett stapeldiagram.

## 2.2 Energieffektivisering av Strömmas byggnader

Detta avsnitt syftar till den teori tillhörande uppsatsens energieffektivisering av Strömma Naturbrukscentrums byggnader. Om man önskar läsa mer om tekniska detaljer om arbetet eller mer om teknisk teori om byggnadens energibalans, olika typer av ventilationssystem, U-värden etc så finns detta tillgängligt i delrapport 5: "Energieffektivisering av Strömmas byggnader".

### 2.2.1 Kort översikt över byggnader

Ursprungligen var det åtta byggnader som Strömma lade fram förslag på. Sex av dessa byggnader undersöktes utifrån energieffektiviseringsåtgärder, vilka är de presenterade i tabell 1. De resterande två byggnaderna undersöktes inte vilket berodde på att utformningen av de byggnaderna var för komplexa i relation till den tillgängliga data som fanns.

Tabell 1: Översikt över byggnader som ska undersökas

Byggnadsnummer	Namn	Ändamål för byggnad	Storlek [m <sup>2</sup> ]	Byggår
3	Vaktmästeriet	Vaktmästeri och undervisning	330	1960
6	Västergården	Elevhem	540	1965
12	Flygeln	Elevhem	480	1930
13	Herrgården	Undervisningssalar och elevhem	1400	1780
14	Labbet	Undervisningssalar och lärarrum	120	1960
19 E-F	Sörgården	Elevhem	233	1970

### 2.2.2 Värmeförluster

Byggnader består av ett klimatskal (väggar, tak, golv, fönster) som ger upphov till klimatskalförluster. Förluster genom dessa byggdelar kan namnges som transmissionsförluster och beror på byggdelens area, tjocklek, värmekonduktivitet samt skillnaden mellan utomhus- och inomhustemperaturen enligt ekvation 1 (Abel och A.Elmoth, 2012).

$$P_{transmission} = UA(T_{inne} - T_{ute}) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

I ekvation 2 är  $P$  effekt i Watt,  $U$  är U-värde i  $W K^{-1} m^{-2}$ ,  $A$  är area i  $m^2$  och  $T$  är temperatur i Kelvin. U-värdet är ett mått på hur mycket värme som läcker ut genom en byggdel per kvadratmeter och gradskillnad mellan inomhus- och utomhustemperatur. U-värdet beror på tjockleken av isolerande materialet, samt materialets värmekonduktivitet, det vill säga materialets förmåga att leda värme. Ju lägre värmekonduktivitet, desto lägre U-värde och byggnaden släpper därmed ut mindre värme för den byggdel som U-värdet avser. Låga U-värden eftertraktas då det innebär att värmeförsörjningen blir lägre (Jernkontoret, u. å.). Energieffektiviseringsåtgärder som kan minska U-värden för en byggnad är byte av fönster och tilläggsisolering av tak, fönster och golv.

Byggnader har även ventilationsförluster som sker genom klimatskalet, och dessa kan vara olika stora beroende på vad för typ av ventilationssystem som byggnaden har. Ventilationsförluster beror av luftflödet, luftens densitet och värmekapacitet samt skillnaden mellan utomhus- och inomhustemperatur, enligt ekvation 2 (Abel och A.Elmroth, 2012).

$$P_{ventilation} = V \rho c_p (T_{inne} - T_{ute}) \quad [W] \quad (2)$$

I ekvation 3 är  $P$  effekt i Watt,  $V$  luftflödet i  $m^3 s^{-1}$ ,  $\rho$  luftens densitet i  $Kg m^{-3}$ ,  $c_p$  värmekapacitet i  $J Kg^{-1} K^{-1}$  och  $T$  temperatur i Kelvin. På Strömma har man främst FTX-system i sina byggnader. FTX-system är ett ventilationssystem som har mekaniska fläktar och som effektivt återvinner en del av värmen vilket innebär en mer energisnål ventilation. Därmed har arbetet inte behövt fokusera på att ändra ventilationsystemen för några byggnader. Ventilationsförluster är dock något som fortfarande förekommer i viss grad, men inte i lika stor utsträckning som om man hade haft självdrag som ventilation.

### 2.2.3 Byggnadens energibalans

Byggnadens energibalans består av värmeförluster som skapar ett värmebehov samt tillförd energi som försörjer byggnadens värmebehov. Den tillförda energin är då dels interna värmekostnader (värmeenergi från människor, tappvarmvatten, belysning och elektriska apparater) och solinstrålning som tidigare nämnt, men kan även innefatta värmeåtervinning från värmepump och ventilation, energi från eventuella solfångare och solceller samt inköpt energi i form av vattenburen värme eller elvärme.

Konceptet kring energibalans går helt enkelt ut på att värmeförlusterna måste täckas av tillförd energi. Ju mindre värmeförluster, desto mindre tillförd energi måste tillföras. Därav blir även värmeförsörjningen lägre för byggnader som är energisnåla och har låga värmeförluster.

## 2.3 Energiförsörjning

I detta avsnitt följer redovisning över de energikällor som kan komma att bidra till den egenproducerade energin i Strömma. På förfrågan av Strömmas driftchef har ett fokus legat på solceller tillsammans med batteri och vätgaslagring.

### 2.3.1 Solceller

Hur mycket effekt som kan utvinnas från solceller beskrivs med ekvation 1 som definieras nedan.

$$P = \eta \cdot I \cdot A \cdot \cos(\alpha) \quad [W] \quad (3)$$



$\eta$  motsvarar verkningsgraden för solcellerna,  $I$  är solinstrålningen i  $[W/m^2]$  och  $A$  är arean för solcellerna i  $m^2$ . Termen  $\cos(\alpha)$  kompenserar om solcellerna är monterade i en vinkel  $\alpha$  gentemot solinstrålningen  $I$ .

### 2.3.2 Pannor

De tre relevanta panntyperna att nämna för Strömma Naturbrukscentrum är oljepannor, pelletspannor och träflispannor. Olja är ett energirikt bränsle men kommer med flera nackdelar: bränslet är fossilt vilket ger hög miljöpåverkan samt har ett betydligt högre inköpspris jäntemot fossilfria alternativ. Verkningsgraden för en gammal oljepanna brukar även markant lägre än en ny, upp till hälften av en ny pannas verkningsgrad (Energimyndigheten, 2017)(Ulma, 2022). Verkningsgraden för oljepannor kan under ett år variera mellan 95 % till under 50 %, det här beror på modell men också på säsong där pannornas verkningsgrad är lägre under sommarhalvåret (Furbo m. fl., 2004). Ett billigare och miljövänligare bränsle är att elda med biomassa (Energimyndigheten, 2022b). Skillnaden mellan de två är att pellets är ett bränsle med högre energitäthet än träflis vilket innebär att träflis kräver ett större lagringsutrymme. Fördelen med träflis är att det är billigare per kWh (Energimyndigheten, 2022d)(Energimyndigheten, 2022c).

### 2.3.3 Batterier

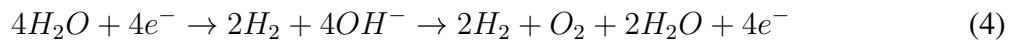
Batterilager till ett solcellssystem möjliggör en högre egenanvändning av den elektriska energin som solcellssystemet producerar. Det vill säga ett batterilager gör det möjligt att lagra elektrisk energi för senare användning om solcellssystemet skulle producera mer elektrisk energi än vad som behövdes. Den lagrade elektriska energin skulle kunna användas t.ex. under tillfällen när solcellssystemets produktion inte räcker till eller för att optimera energianvändningen genom att kapa effekttoppar för att få en jämnare effekt användning (Energimyndigheten, 2022a).

**Dimensionering batterilager** För att bestämma storleken på batteriet behövde först syftet med batterilagret definieras. Strömma har uttryckt ett önskemål att försöka kapa eventuella effekttoppar som uppstår som konsekvens av deras dagliga verksamhet. Från Strömmas dagliga effektanvändnings data som beskrivs i bakgrunden kunde en lastkurvor för två olika dagar tas fram, en vardag och en helgdag. Batterilagrets storlek kunde bestämmas genom att studera effekttopparna i de två lastkurvorna. I lastkurvan för den 10 mars syns den högsta effekttoppen, toppen ligger på omkring 190 kW och varar i omkring 2-3 timmar (ungefär mellan 06:00-09:00). Denna effekttopp är ungefär 60 kW över snittanvändningen och effekttoppen sker strax innan solcellssystemet producerar som mest energi. Batterilagret dimensioneras därför i syfte att kunna kapa denna effekttopp. För att batterilagret ska kunna kapa effekttoppen så behöver batteriet en maxeffekt på 60 kW och en kapacitet som täcker 3 timmar, vilket blir 180 kWh. Batteristorleken som slutligen valdes för att simulera i SAM hade en maxeffekt på 60 kW och en kapacitet på 180 kWh.

### 2.3.4 Vätgas

Systemet med vätgaslagring baseras på en enkel kemisk process som kallas elektrolys. Denna process använder elektrisk energi för att driva en kemisk reaktion (Nationalencyklopedin, 2023b). I detta fall är den kemiska reaktionen vattenspjälkning. Man kan likna denna reaktion

vid ett simpelt kemiskt batteri då den utförs i en elektrolysör som har en katod, anod, membran och elektrolyt. Reaktionen ses i ekvation 4 nedan.



Ekvation 4 beskriver den fundamentala kemiska reaktionen som rör vätgasproduktion och lagring.

Det tillförs alltså elektrisk energi till vatten, som då spjälkas till vätgas samt hydroxidjoner (Nationalencyklopedin, 2023a). Det är här som den egentliga lagringen sker. För att sedan uthämta elektrisk energi så använder man en bränslecell. Bränslecellen producerar elektrisk energi, värme och vatten. Den elektriska energin bestäms av Gibbs-Helmholtz ekvation (ekvation 5) nedan.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = UnF \quad [J] \quad (5)$$

I ekvation 5 är  $\Delta H$  entalpiändringen i  $J \text{ mol}^{-1}$  när vatten bildas vid bränslecellens omvandlingsprocess från kemisk energi i vätgasen till elektrisk energi.  $T$  är den absoluta temperaturen i Kelvin och  $\Delta S$  entropiändringen i  $J K^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $U$  är bränslecellens öppetspänning i volt,  $n$  är antalet elektroner som omsätts vid reaktionen, vilket i detta fall är 4 och  $F$  är Faradays konstant som är 96 485. Verkningsgraden för denna process blir då enligt ekvation 6 nedan.

$$\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H} \quad (6)$$

Den teoretiska verkningsgraden vid rumstemperatur blir då 83%. Detta fall skulle kräva en omgivningstemperatur på 1500 grader Celsius. Denna verkningsgrad är alltså verkningsgraden för bränslecellsprocessen och inte verkningsgraden för själva lagringen. Den kan benämnas som bränslecellens verkningsgrad.

Vätgaslagring i gasform är den överlägset vanligaste metoden i applikationer som detta projekt, det vill säga icke industriella processer. Därför kommer främst denna metod att användas under simuleringar. Andra metoder för vätgaslagring finns beskrivna i delrapport 1 under rubriken "Lagring".

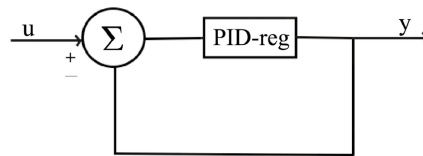
I gasform lagras vätgas i komprimerad form (350–700 bar), främst på grund av vätes stora volym (Office of energy efficiency, u. å.). Detta innebär energiförluster då kompression kräver energi, ungefär 10 % av den lagrade energin (Nash m. fl., 2012). Själva lagringen sker i en tank, som då kräver ett antal säkerhetsåtgärder. Rätt material måste också användas, då väte är ett reaktivt ämne. Vid övervägande av det mest lämpliga materialet, vare sig det gäller det tryckhållande skalen eller ventiler och tätningar, måste man ta hänsyn till försämring av egenskaper som uppstår när de utsätts för väte under driftsförhållanden. Mekaniska egenskaper hos metaller, till exempel stål och aluminium, titan, nickel och deras legeringar, påverkas negativt av väte. Väteexponering av metaller kan också leda till skörhet, sprickbildning och/eller betydande förluster av draghållfasthet, tånjbarhet och tålighet. Detta kan resultera i att lastbärande komponenter bryts.

Då bränslecellsdelens av processen även producerar värme, utöver elektrisk energi, kan man öka systemets verkningsgrad genom att även ta hand om värmen. Detta skulle betyda att hela systemet har endast syrgas som produkt. När det kommer till verkningsgrad är detta en viktig

punkt, då verkningsgraden för hela systemet höjs. De olika delarna i vätgaslagringsprocessen har olika verkningsgrad. Elektrolysen har cirka 70% verkningsgrad (Sjöberg och Widing, 2020). Lagringsprocessen har en verkningsgrad på cirka 90% för lagringsmetoden komprimerad gas.

## 2.4 Reglering

Den lagrade energin från vätgaslagringen fördelades utifrån ett mål att hålla ett lågt och konstant nettoenergiflöde. För att uppnå detta användes en PID-regulator där systemet modelleras som en återkoppling med önskad nettoenergi satt till noll. Blockschemat för systemet med PID-regulatorn kan ses nedan.



Figur 4: Visar ett förenklat blockschema med en PID-regulator.  $u$  är insignalen till systemet vilket motsvarar den oreglerade elektriska nettoenergin och  $y$  är den reglerade nettoenergin som genomgått regulatorn och reglerats till önskad nettoenergi.

PID-regulatorns tre delar börjar med den proportionella delen (P), som justerar regleringen proportionellt mot felet mellan önskat värde och aktuell mätning, vilket hjälper till att minska felet direkt. Den integrerande delen (I), tar hänsyn till tidigare ackumulerat fel och bidrar till att eliminera konstanta fel över tiden, vilket leder till att systemet stannar vid önskat värde även i frånvaro av konstant fel. Den differentierande delen (D), tar hänsyn till förändringstakten av felet för att förutsäga och dämpa snabba förändringar i systemet. Det hjälper till att förbättra regleringens reaktionstid och minska oscillerande beteende genom att tillämpa korrigeringar baserat på hur snabbt felet förändras. Varje term har en justerbar viktning ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) som styr deras bidrag till den totala regleringsåtgärden (Glad och Ljung, 2006). I modellen testas olika viktningar för att uppnå den önskade regleringen. Rent praktiskt innebär detta att bränslecellen är modellerad på ett vis som skulle motsvara reglerbart luftflöde eller driftstemperatur. Värt att notera är att regleringen i själva modellen begränsas av mängden tillgänglig överskottsenergi, därför kan man inte välja ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) godtyckligt.

### 2.4.1 Ackumulatortank

En ackumulatortank kan hjälpa till att jämna ut effekttoppar genom att lagra varmvatten som kan användas när behovet är extra stort. Det blir även en värmebuffert om pannan inte är tillgänglig. Flera värmekällor kan kopplas ihop till tanken samtidigt, till exempel: värmepumpar, pellets pannor eller solfångare (Ulma, u.å.).

## 3 Metod

### 3.1 Energieffektivisering av Strömmas byggnader

En fullständig redogörelse för metod och arbetsgång för arbetet med energieffektiviseringen av byggnaderna redogörs i delrapport 5: "Energieffektivisering av Strömmas byggnader".

För varje byggnad skapas en modell i en programvara som heter VIP-Energy. Det är en vanlig programvara inom energieffektivisering av byggnader. Modellen som skapas i programvaran bygger på information och data som erhållits från Strömman och som rör den värmeförsörjning och elförsörjning som byggnaden står för, under ett års tid. Strömman har även till viss del kunnat tillhandahålla information om byggnadens ventilationssystem och isolerande förmåga. Något som är viktigt att tillägga är att informationen om byggnadernas isolerande förmåga är Strömmas egna bedömning, det är ingen teknisk beskrivning och således har flera antaganden behövt göras som avser byggnadernas U-värden. Strömman kunde inte heller erbjuda någon detaljerad data för förbrukningen av tappvarmvatten för respektive byggnad, med undantag för Sörgården, vars värmeförsörjning helt drivs av en bergvärmepump. Detta har medfört att man behövt göra antaganden i storlek på tappvarmvattenförbrukning för de olika byggnaderna, och därför utgått från standard brukarindata.

Strömman kunde förse arbetet med ritningar för respektive byggnad och dessa ritningar användes i flera syften, dels för att mäta upp totala uppvärmda ytan, dels för att mäta areor för olika byggdelar samt för att göra en egen bedömning av byggnadens ändamål, detta påverkar nämligen vad Boverket ställer för krav när det kommer till luftutbytet i ventilationen för byggnaden.

I VIP-Energy tas en modell fram, där värmeförsörjning, klimat, tappvarmvattenförsörjning och elförsörjning ställs in. Den kritiska delen är att modellen ska efterlikna den verkliga värmeförsörjningen och här behöver huvudsakligen byggnadens olika U-värden justeras för byggdelarna (väggar, fönster, dörrar etc). Ventilationsförlusterna går inte att anpassa då den enda parametern som går att justera är luftutbytet och detta styrs av Boverkets krav och beror även på byggnadens ändamål för användning. Kraven från Boverket på byggnadens ventilationsflöde varierar nämligen beroende på om byggnaden är ämnad för t.ex. undervisning eller boende.

När modellen tagits fram görs det flera simuleringar för åtgärder. Först med avseende på respektive åtgärd var för sig, och sedan med avseende på olika åtgärdspaket. I rapporten redovisas resultaten för simulering av tre åtgärdspaket. Det första åtgärdspaketet innefattar samtliga åtgärder och syftar till fönsterbyten, dörrbyten samt tilläggsisolering av tak, golv och väggar. Vid fönsterbyte antas de nya fönstren ha ett U-värde på 0,8 och vid byte av dörrar antas U-värdet vara 1,0. För tilläggsisolering av väggar, golv och tak har ett genomsnittligt U-värde på 0,11 antagits. Det andra åtgärdspaketet syftar till att samtliga åtgärder utförs förutom byte av dörrar. I det tredje åtgärdspaketet ingår fönsterbyte samt tilläggsisolering i tak och golv. Dessa åtgärdspaket kan utföras i samtliga av de studerade byggnaderna. Åtgärdspaketen kommer framöver att benämnas som åtgärdspaket 1, 2 och 3. Åtgärder för de enskilda byggnaderna finns att se i delrapport 5. För Sörgården, vars värmeförsörjning drivs av en bergvärmepump, ingår det även att uppdatera bergvärmepumpen. Byte av bergvärmepumpen ger inget utslag på minskad värmeförsörjning men däremot en minskad försörjning av elektrisk energi vilket påverkar byggnadens värde i energiprestanda.

## **3.2 Solceller med Batterilagring, Modellering och simulering i System Advisor Model (SAM) och MATLAB**

### **3.2.1 System Advisor Model**

System Advisor Model (SAM) är en programvara som utvecklats av National Renewable Energy Laboratory (NREL) i syfte att enkelt kunna analysera förnybara energisystem ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Genom användningen av SAM så kan beslutfattande aktörer modellera och simulera energisystems prestanda och den ekonomiska belastning som de medför innan energisystemet implementeras på riktigt. I SAM kan användaren modellera både små och storskaliga energisystem av olika slag med olika tillvals alternativ som exempelvis batterilagring eller vätagaslagring (Blair m. fl., 2018).

För att modellera och simulera solcellssystemet som tagits fram av konsultföretaget MR Sjuhärad med ett tillhörande batterilager så valdes först av allt projektmodellen Detailed PV-battery. Modellen skapar ett grundläggande solcellssystem med tillhörande batterilager. För att modellera ett system som är anpassat för Strömma Naturbrukscentrum behöver detaljerad information av följande parametrar läggas in: väderfil med solinstrålning för Strömma, specifikationer för vald solpanel, växelriktare och batteri samt en lastprofil med data över Strömmas energianvändning. I modellen kommer även systemstorlek för solcellssystem och batterilager behöva bestämmas, d.v.s. antalet solpaneler och hur de kopplade i förhållande till varandra samt storleken på batterilagret. När alla dessa parametrar har angetts i modellen, kan en simulering genomföras av hur ett solcellssystem med ett tillhörande batterilager skulle kunna fungera på Strömma.

### **3.2.2 Val av väderfil, solinstrålning Strömma Naturbrukscentrum**

Dataalet för solinstrålning till SAM-modellen var online-verktyget Photovoltaic Geographical Information System (Europeiska-Kommissionen, u. å.). Från PVGIS kunde data för solinstrålning under perioden 2005-2020 hämtas i form av en så kallad Typical Meteorological Year fil (TMY-fil), som innehåller data för globalstrålning på en given plats för varje timme utöver ett år. Alltså 8760 datapunkter för solinstrålning för ett typiskt år på given plats i [ $W/m^2$ ].

MATLAB-modellen använder ett annat dataset som hämtad från SMHI:s API tjänst STRÅNG, STRÅNG är en modell som beräknar solinstrålningen för givna koordinater där modellen valideras mot diverse mätstationer (SMHI, u.å). Datan som extraherades var total globlstrålning per månad, per dag och per timme under ett genomsnittligt år räknat som ett medelvärde under perioden 2000 till 2020 i [ $W/m^2$ ]. Båda solinstrålningsmodellerna använde samma koordinater (latitud 57,564 och longitud 12,457). Mer ingående beskrivning av solinstrålningsmodellen erhålls i delrapport 2.

### **3.2.3 Solcellssystem**

Solcellssystemet som modelleras i SAM baseras på Solcellssystemet som tagits fram av konsultföretaget MR Sjuhärad. MR Sjuhärad har modellerat ett Solcellssystem med en installerad effekt på 207,48 kW som har en beräknad årlig energiproduktion på omkring 200 000 kWh. 456 stycken moduler av typ Ulica Solar UL-455M-144 kommer fördelas platt på 3 tak som har en 30° lutning. Varje tak delas in i en Sub-array vilket betyder en grupp av sammankopplade paneler. Sub-array 1 och 2 placeras i väderstreck sydvästlig riktning (azimuth 225°) och Sub-array 3 i

sydöstlig riktning (azimuth  $135^\circ$ ). SAM har en egen databas över olika typer solpaneler som går att välja bland, modellen som används av MR Sjuhärad är dock inte ett alternativ i denna databas. I SAM valdes därför istället alternativet "CEC Performance Model With User Entered Specifications" vilket låter användaren att skriva in specifikationerna själv för önskad solpanel. Specifikationerna för Ulica Solar UL-455M-144 fås utifrån modellens produktblad vilket går att hitta på tillverkarens hemsida (Ningbo Ulica Solar Co., u.å).

Solcellesmodellen i MATLAB utgick från samma solcellsmodul som modellen i SAM (UL-455M-144). Solcellsmodulens verkningsgrad antogs vara konstant på 21% (Ningbo Ulica Solar Co., u.å). De kvarvarande variablerna  $A$  och  $\alpha$  kan väljas godtyckligt utifrån an systemets krav och begränsningar. I solcellsmodellen används  $\alpha = 30^\circ$  vilket anses som ett optimalt standardvärde för solceller med fast lutning (Mehleri, Sarimveis och Zervas, 2010). Andra faktorer som kan påverka strålningsintensitet som skuggning och väderstreck är inte beaktat i beräkningarna.

### **3.2.4 Batterilager i SAM**

Batterilagret som valdes i SAM är av batterikemin NMC och har en effekt på 60 kW och en kapacitet på 180 kWh. I SAM kan användaren bestämma när batteriet ska ladda ur och när den ska ladda upp. För denna modell valdes inställningarna Peak-shaving (kapa effekttoppar) och att batteriet endast ska ladda upp när solcellerna producerar mer elektrisk energi än vad som används.

### **3.2.5 Övriga inställningar, förluster och simulering**

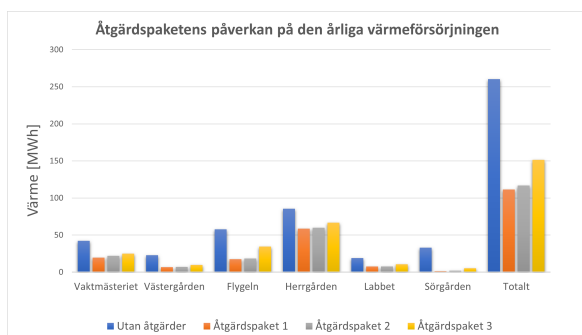
För att få en simulering som är anpassad specifikt för Strömma behövdes deras årliga lastprofil (med timvis data) uppladdas till SAM. Eftersom denna lastprofil inte fanns att tillgå skapades en lastprofil baserad på lastprofilerna för 10 och 12 mars, se Lastprofil Strömma Naturbrukscentrum 2.1. Eventuella förluster som uppstår i det modellerade systemet läggs automatiskt in av SAM och de baseras på vilken modell av solpanel, växelriktare och batteri som användaren väljer. Utdata från simuleringar i SAM användes för att konstruera de lastprofiler som presenteras i resultatet, se figurerna 9 och 10.

## 4 Resultat

### 4.1 Energieffektivisering av Strömmas byggnader

En fullständig redogörelse för de olika åtgärdspekten ges i delrapport 6.

Det årliga värmebehovet för de studerade byggnaderna simulerades för valda åtgärder och åtgärdspaket. Utan åtgärder uppgår det totala värmebehovet för de undersökta byggnaderna till 260,4 MWh. Om åtgärderna tillhörande åtgärdspaket 1 genomförs kan värmebehovet minska till 111,5 MWh. Vid simuleringen för åtgärdspaket 2 uppgick det totala värmebehovet till 116,8 MWh. För åtgärdspaket 3 beräknades värmebehovet till 151,5 MWh, se figur 5. För åtgärdspaketet 1 och 2 minskar flygeln sitt värmebehov i störst utsträckning med 40,3 MWh respektive 39,4 MWh. I fallet för åtgärdspaket 3 är det Sörgården som minskar sitt värmebehov mest och då med 27,7 MWh, se figur 6.



Figur 5: Diagram som visar byggnadernas värmebehov utan att åtgärder utförts samt det simulerade värmebehovet för de olika åtgärdspekten.



Figur 6: Figur över minskningen av det årliga värmebehovet för de utvalda byggnaderna med avseende på de tre åtgärdspekten.

Om Strömma skulle genomföra samtliga åtgärder motsvara detta en totala mängd sparad värmeenergi på 141.5 MWh/år varav 113 MWh/år som kan minskas för pelletsspannorna. Detta omvandlas till ca 22.6 ton pellets per år som inte längre behövs. Om man dessutom ser till mängden elektrisk energi som sparas in om man byter ut en bergvärmepump för en av byggnaderna till en med bättre COP så blir den totala mängden sparade pengar per år ca 70 700 kr, se tabell 2.

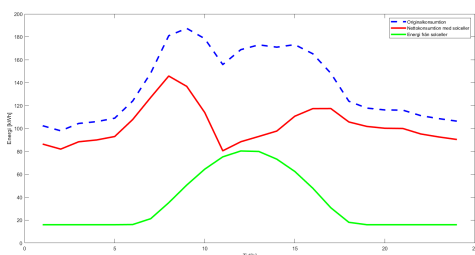
Tabell 2: Resultat för mängd sparad värmeenergi, elenergi för bergvärmepump, samt sparade pengar per år i fallet för åtgärdspaket 1 som inkluderar samtliga åtgärder.

<b>Total mängd sparad värmeenergi [kWh]</b>	141,478
<b>varav för värme från pellets pannor [kWh]</b>	113,085
<b>Mängd sparad pellets [kg]</b>	22,617
<b>Insparade pengar per år för pelletsförbrukning [kr]</b>	67,851
<b>Sparad el från uppdatering av bergvärmepump [kWh]</b>	9,424
<b>Sparade pengar per år för uppdatering av bergvärmepump [kWh]</b>	2,827
<b>Total mängd sparade pengar per år [kr]</b>	70,678

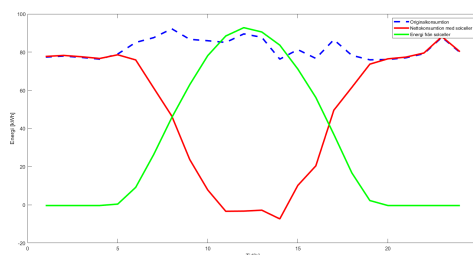
## 4.2 Energiförsörjning

### 4.2.1 Energiproduktion

Från ekvation 1 dimensionerades arean av solcellerna så den årliga solcellsproduktionen totalt blev 200 000 kWh med  $\eta = 0.21$  och  $\alpha = 30^\circ$  vilket motsvarade en area på 1140 m<sup>2</sup>. Resulterade energisystem i timvis upplösning illustreras i figur 7 och 8

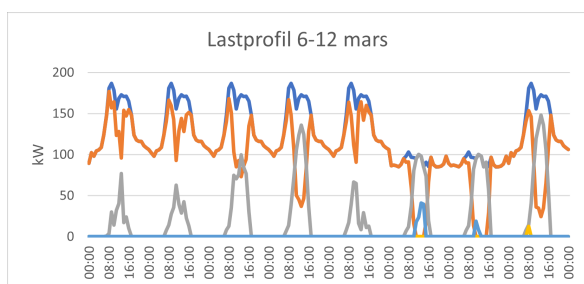


Figur 7: Visar elektriska konsumtion, produktion och resulterade nettoenergi timvis i kWh för en vardag i Mars.

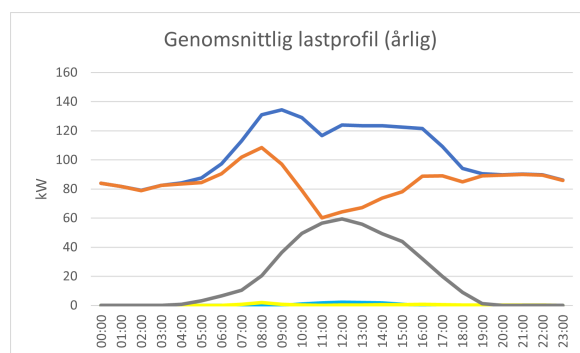


Figur 8: Visar elektriska konsumtion, produktion och resulterade nettoenergi timvis i kWh för en helgdag i Maj.

Den gröna kurvan motsvarar produktion av elektrisk energi, den blå kurvan energikonsumtion och röd resulterade nettoenergi; notera att vattenkraften bidrar i Mars men inte i Maj. Figur 7 modellerar en dag med låg konsumtion tillsammans med hög produktion och figur 8 vice versa. Nettoenergin till figur 8 antar negativa värden mellan timmar 11 till 14, summan av dessa blev cirka -16 kWh. För att undersöka produktionssystemet med batterilagring användes SAM, SAM gav timvis data över prestandan hos det modellerade solcellssystemet med tillhörande batterilagring, se figur 9 och 10.



Figur 9: Figur över hur solcellssystemet med tillhörande batterilagring skulle påverka Strömmas lastprofil för dagarna 6-12:e Mars 2022.

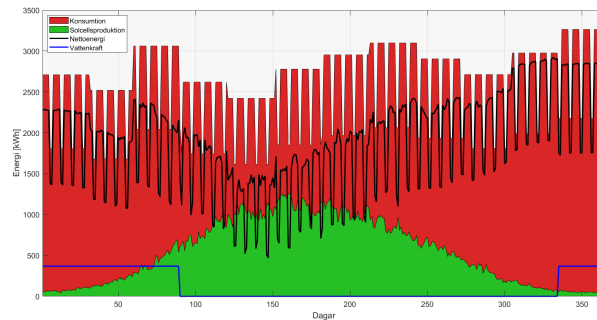


Figur 10: Figur över Strömmas årliga genomsnittliga lastprofil med sol- och lagringssystem inkluderat.

I figur 9 illustreras Strömmas lastprofil för en hel vecka (6-12:e Mars) med och utan solcellssystem med tillhörande batterilagring. I figur 10 illustreras den genomsnittliga lastprofilen för ett helt år med och utan solcellssystemet. De mörkblå kurvorna är lastprofilen utan system och de orange kurvorna är med systemet. De grå kurvorna illustrerar solcellssystemets energiproduktion, de ljusblå och gula kurvan illustrerar upp- respektive urladdning hos batterilagret.

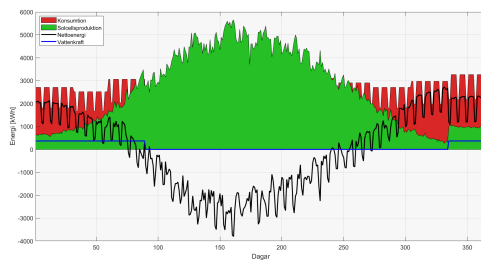


En vidare analys av systemet på en daglig basis för tidigare nämnt solcellsanläggning vars årliga produktion är 200 000kWh illustreras i figur 11.

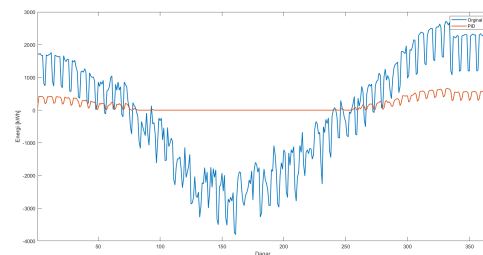


Figur 11: Simulerar hur konsumtion och produktion av elektrisk energi samt resulterade nettoenergi ser ut i kWh utifrån en total solcellsproduktion på 200 000 kWh. Notera att vattenkraften bidrar under månaderna december till mars.

I figur 11 visas hur kombinationen av solceller och vattenkraft påverkar den resulterade energin för produktionssystemet. De gröna linjerna representerar solcellerna, de blå linjerna representerar vattenkraften, och den svarta kurvan visar skillnaden i elektriskt produktion och konsumtion, konsumtionen är densamma som i figur 3. Det andra produktionssystemet vars mål var att bli nästintill självförsörjande på elektrisk energi dimensionerades så den årliga konsumtionen var lika stor som den årlig produktionen. Den variabeln som förändras från föregående produktionssystem är arean på solcellsanläggningen som beräknades till dryga 5120 m<sup>2</sup>. I detta system användes ett vätgaslagringsystem tillsammans med en PID-regulator vars mål är att hålla nettoenergin på en nollnivå vilket visas i 13. Resulterade system tillsammans med konsumtions och produktions flöden på daglig upplösning för år 2022 visas i figur 12



Figur 12: Simulering där total produktion av elektrisk energi är lika med den elektriska konsumtionen.



Figur 13: Visar nettoenergin från figur 12 tillsammans med reglerad nettoenergi.

Resultatet med PID-regulator uppnåddes genom en iterativ inställningsprocess för parametervikterna. Viktning som användes för att åstadkomma denna reglering var  $K_p = 0.755$ ,  $K_i = 0$  och  $K_d = 0.2$ . Med dessa inställningar blev total nettoenergin med vätgaslagring 58600 kWh, vilket beror på förluster i elektrolys och bränslecellsprocesser.

#### 4.2.2 Värmelagring

Ett överdimensionerat värmesystem är både dyrare att investera i men riskerar även att drivas mer ineffektivt och därmed få högre driftkostnader, samtidigt måste pannan vara så pass stor att områdets värmebehov kan täckas hela året. En lösning är att ha flera pannor med lägre kapacitet och köra den mest lämpade pannan under de delar av året då behovet är lägre. Det gör att pannorna kan undvika att köras på låglast. Ett annat sätt är att kombinera de med en ackumulatortank, där pannan växlar mellan att gå på fullast och ladda upp ackumulatortanken som sedan förser anläggningen med värme medan pannan vilar (Energimyndigheten, 2015).

Det finns flera tidigare kandidat- och examensarbeten gjorda där de undersökt lönsamheten på ackumulatortankar på småskaliga nät. Dessa nät är dock betydligt större än Strömma och innefattar ofta ett mindre samhälle på flera tusen invånare. Ett arbete från 2019 och ett annat från 2021 kom båda fram till att det var lönsamt att investera i ackumulatortankar för befintliga pannor på respektive verk. Det berodde främst på att oljeanvändningen minskade kraftigt då ackumulatortanken används vid driftstopp och effektoppar (Svedinger, 2019)(Uhlen och Otterström, 2021).

Jämförelsevis gjorde ett projekt 2003 som undersökte för- och nackdelarna med pelletseldning mot ackumulatortank i villor där tanken var på 750 l. Resultatet visa förbättrade miljöresultat men att verkningsgraden försämras med någon procentenhet. De drog ändå slutsatsen att en optimerad ackumulatorkoppling är det bättre alternativet då pannan i kombination med ackumulatortanken bör få en längre livslängd på grund av mindre slitage, bättre tillgänglighet, mindre driftstörningar samt möjligheten att kombinera det med solvärme sommartid (Löfgren och Arkelöv, 2003).

## 5 Diskussion

Sett till att samtliga åtgärder hade genomförts för de undersökta byggnaderna i rapporten, så har Strömma relativt mycket potential att minska sin värmeförsörjning för anläggningen. Det är framförallt elevhemmen Flygeln och Sörgården som kan spara mest värmeenergi per år, följt av vaktmästeriet och Herrgården.

Potentialen att minska värmeförsörjningen sett till värme per kvadratmeter, skiljer sig åt mellan de olika byggnaderna vilket framförallt beror på att byggnadernas U-värden för varje byggdel varierar. U-värdena som fått fram i respektive modellering av varje byggnad bygger helt på de uppgifter om värmeförsörjning som erhållits från Strömma. Således kan det finnas felkällor i varje modellering och simulering av respektive byggnad för de U-värden som byggnaden anses ha ursprungligen, och detta kan i sin tur ha en viss påverkan i hur stor minskning av värmeförsörjning som respektive åtgärd ger upphov till. Resultaten har dock ändå ansetts vara trovärdiga då en simulering av åtgärder först har genomförts efter att en modell har kunnat skapas i programvaran VIP-Energy, med korrekt ventilation och driftschema, där värmeförsörjningen efterliknar verkligheten.

Att genomföra samtliga åtgärder är absolut inte nödvändigt för Strömma, man kan uppnå nästan lika stora minskningar i värmeförsörjning ändå om man väljer de åtgärder med störst minskning. I arbetet med respektive byggnad var det ganska tydligt kring vilka åtgärder som vanligtvis minskade värmeförsörjningen mest respektive minst. Dörrar är ett sådant exempel som vanligtvis inte utgör särskilt stora areor för en byggnad och således inte påverkar värmeförsörjningen särskilt mycket, men som kan kosta mycket att investera i. Däremot för en byggnad som har ett stort antal dörrar som tillsammans täcker en stor area, så kan det vara värt att fundera på att byta till energieffektiva dörrar, beroende på dess ursprungsskick.

Ett åtgärdspaket som visade sig vara effektivt när det kom till minskning av värmeförsörjning var kombinationen av att tilläggsisolera golv och tak samt att byta ut fönstren. En annan strategi för Strömma kan vara att välja ut de byggnader med störst potential att antingen minska sin värmeförsörjning eller att spara värme per år, och genomföra åtgärder för dessa. Sörgården och elevhemmet Flygeln är sådana exempel.

Eftersom de nuvarande pellets pannorna planeras att bytas är det inte nödvändigtvis så att de ihop med en ackumulatortank hade varit mer lönsamt. Men lönsamhet kan komma från att det går att investera i mindre pannor samt att slitaget på pannorna blir lägre över tid från en jämnare driftkörning. Vilket i sin tur förlänger livslängden på pannorna. Det viktigaste när pannorna dimensioneras är att de inte överdimensioneras och att de energieffektiviseringsåtgärder som planeras tas hänsyn till vid planeringen av pannan för att undvika onödiga kostnader och få ett så effektivt system som möjligt. Storleken på anläggningarna som tidigare undersökts skiljer i storlek från Strömma vilket gör det svårare att dra direkta slutsatser för hur effektiv en ackumulatortank skulle vara på anläggningen. Om en ackumulatortank hade installerats mot pannorna som finns idag skulle det minska behovet av förbränningsolja då ackumulatortanken kan backa upp pannorna vid plötsligt driftstopp.

För Solcellsanläggning som producerade 200 000 kWh årligen lades inget förslag om ett batterilagringssystem i MATLAB-modellen fram. Anledning till detta är förhållandet mellan elektrisk-

konsumtion och produktion. Från figurerna 7 och 8 går det att se detta förhållande och skillnaden mellan dessa som nettoenergin. Konsumtionstopparna följer produktionstopparna och minskar effekttopparna på ett effektivt sätt i frånvaro av ett batteri. Detta indikerar att ett batteri skulle kunna lagra små mängder elektrisk energi, under ett fåtal timmar, på dagar med hög produktion och låg konsumtion. Storleksordningen på lagrad elektrisk energi per dag analyserades till ett tiotal kWh, medan den dagliga förbrukningen ligger på tusentals kWh. Ett batteri skulle därmed inte minska effekttoppar på ett tillfredsställande sätt. Detta validerades med programvaran SAM, utifrån figur 9 illustreras hur batteriet laddas in och ur under en vecka. In och urladdningen är ett fåtal kWh och sker under ett fåtal timmar på helgen vilket påvisar batteriets ineffektivitet. Den genomsnittliga lastprofilen med batteriet ses i figur 10 där lastprofilens utseende påvisar ytterligare hur lite batteriet påverkar systemet för en genomsnittlig dag.

Det andra produktionssystemet vars elektrisk produktion var lika stor som förbrukningen valdes ett vätgaslagringssystem. Vätgaslagringssystemet tillsammans med en PID-regulator kunde utjämna nettoenergin i storutsträckning vilket tydligt visas i figur 13. Bakomliggande faktorer som möjliggör dessa resultat är regulatorparametrarna, anmärkningsvärt är  $K_i$ , vilket i modellen är satt till noll. Om ett värde annat än noll användes i modellen blev utsignalen instabil, det vill säga nettoenergin kunde inte regleras för det ackumulativa felet blev för stort över tid. Om man ska vara exakt användes alltså en PD-regulator i modellen. Resultatet är ett önskevärt scenario men vätgaslagring är en väldigt kostsam teknik, därmed kan investeringskostnaden vara för stor att implementera i skolans fall.

Investeringskostnaden för solcellssystemet som producerar 200 000 kWh per år uppskattades genom programmet SAM att vara ungefär 1,8 miljoner kr med en återbetalningstid på omkring 8 år. För solcellssystemet med tillhörande batterilager uppskattades investeringskostnaden till ungefär 3,7 miljoner kr med en återbetalningstid på omkring 14 år. Se delrapport 3 för ekonomisk kalkyl. En grov uppskattning av investeringskostnaden för vätgaslagringen gjordes och går att finna i delrapport 1. Investeringskostnaden för vätgasanläggningen uppskattades vara cirka 13 miljoner kr, detta tillsammans med solcellsanläggningen resulterar i en total systemkostnad på dryga 21 miljoner kr. Kostanden för solcellerna antogs förhålla sig linjärt till anläggningen vars årlig produktion var 200 000 kWh.

Dessutom finns andra faktorer som bör beaktas, tex säkerhet. Vill man placera en vätgasanläggning nära ett område med 200 elever? Vidare undersökning inom ett lagringssystem med vätgas och batterier kombinerat är ett intressant case för Strömman att undersöka om framtida lagringssystemet blir billigare.

En annan intressant observation är den betydande skillnaden i area mellan solcellsmodellen i SAM och MATLAB. I MATLAB beräknades den nödvändiga arean för att producera 200 000 kWh, medan modellen i SAM antog samma area som konsultfirman Mr. Sjuhärd. Skillnaden på dryga 150 m<sup>2</sup> kan bero på den relativt enkla solcellsmodellen i MATLAB som inte tog väderstreck, luftfuktighet, temperatursberoende verkningsgrad med mera i beaktning. En förenkling som utfördes i SAM var att bortse från vattenkraftsproduktionen för systemet med batterilagring. Anledningen är enkel, programmet innehöll ingen enkelt lösning till konstanta produktionsvärden för de specifika tidpunkterna där vattenkraft bidrog. Därmed simulerades systemet i frånvaro av bidrag från vattenkraften.

## 6 Slutsatser

### 6.1 Energieffektivisering av Strömmas byggnader

Strömma Naturbrukscentrum har stora möjligheter att minska värmeförsörjningen för sina byggnader. För de sex byggnader som har undersökts så kan Strömma minska värmeförsörjningen för dessa byggnader med cirka 141,5 MWh om man väljer att genomföra samtliga åtgärder. Detta hade inneburit en besparing på cirka 70.7 tkr per år. Dessa åtgärder innefattar energieffektivisering i form av byte till energieffektiva fönster och dörrar samt tilläggsisolering av tak, golv och väggar med mineralull. För en byggnad infördes även en åtgärd att uppdatera bergvärmepumpen till en med högre COP vilket innebär att den skulle förbruka en lägre mängd elektrisk energi.

### 6.2 Implementering av ackumulatortank

Att implementera en ackumulatortank på dagens anläggning hade minskat oljebehovet och gjort driftkostnaderna lägre. Men det är svårare att säga hur ekonomisk lönsamt det blir på de nya pannorna utan större beräkningar. Dock kan de bidra till att livslängden förlängs då det blir mindre slitage på pannorna.

### 6.3 Energiproduktion och lagring

Den modellerade solcellsanläggningen påvisar stora möjligheter för Strömma att reducera dess effekttoppar. Detta då produktionen i stor utsträckning matchar den konsumerade energin. Detta leder vidare in på den potentiella lagringen av den producerade solcellselen som påvisas obefogad, då batteriet endast skulle kunna lagra små mängder energi under korta perioder. Batteriet skulle därav inte kunna minska effekttopparna på ett tillfredsställande sätt.

Vätgaslagringssystemet, tillsammans med en PID-regulator visade å andra sidan på en potential att jämna ut nettoenergin i stor utsträckning. Detta skulle kunna vara en effektiv lösning för att hantera produktions och konsumtionstoppar. Dock är vätgaslagring en kostsam teknik, och investeringskostnaden skulle vara betydande. Dessutom bör säkerhetsaspekter och andra faktorer beaktas vid placeringen av en vätgasanläggning nära en skola.

## Referenser

- Abel, E. och A. Elmroth (2012). *Byggnaden som system*. Studentlitteratur. ISBN: 9789144115887.
- Blair, N., N. DiOrion, J. Freeman, P. Gilman, S. Janzou, T. Neises och M. Wagner (2018). "System Advisor Model (SAM) General Description". I: Länk. [2023-05-23].
- Energimyndigheten (2015). *Dimensionera ditt värmesystem rätt*. Länk. [2023-04-26].
- (2017). *Olja*. Länk. [2023-05-25].
  - (2022a). *Koppla batterier till solceller*. Länk. [2022-05-23].
  - (2022b). *Pellets*. Länk. [2022-05-25].
  - (2022c). *Trädbränsle och torvpriser, per år exklusive skatt, från och med 1993, kronor/MWh fritt förbrukare, löpande priser*. Länk. [2022-05-25].
  - (2022d). *Värmevärden för olika energivaror*. Länk. [2022-05-25].
- Europeiska-Kommissionen (u. å.). *PVGIS online tool*. Länk. [2022-05-18].
- Furbo, S, L J Shah, C Holm Christiansen och K Vinkler Frederiksen (2004). *Boiler efficiency of oil burners and natural gas boilers in one-familie houses, Kedeffectiviteteter for oliefyr og naturgaskedler i enfamiliehuse*. Länk.
- Glad, Torkel och Lennart Ljung (2006). "Reglerteknik". I: s. 20, 21, 53–58.
- Jernkontoret (u. å.). *Jernkontorets energihandbok*. Länk. [2023-04-24].
- Löfgren, B.E och O Arkelöv (2003). *Pelletseldning mot Ackumulatortank*. Länk.
- Mehleri, E.D, H. Sarimveis och P.L Zervas (2010). "Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays." I: *Renewable Energy* 35.11. Länk, ?
- Nash, D, D Aklil, E Johnson, R Gazey och V Ortisi (2012). "4.05 - Hydrogen Storage: Compressed Gas". I: Länk, s. 131–155.
- Nationalencyklopedin (2023a). *Bränslecell*. Länk. [2023-05-15].
- (2023b). *Elektrolys*. Länk. [2023-05-15].
- Naturbrukscentrum, Strömman (u.å.). *Naturbruksskola i 100 år*. Länk. [2023-05-19].
- Ningbo Ulica Solar Co., Ltd. (u.å.). "UL-450-460M-144 (Half-cut)". I: Länk. [2023-05-].
- Office of energy efficiency, and renewable energy (u. å.). *Hydrogen Storage*. Länk. [2023-05-15].
- Sjöberg, I och K Widing (2020). *Utvärdering av vätgaslagring för att reducera eleffektuttaget i en kommersiell byggnad med solelproduktion*. Länk.
- SMHI (u.å.). "SMHI Open Data API Docs - Meteorological Analysis STRÅNG". I: Länk. [2023-05-22].
- Svedinger, D (2019). *Kostnadsanalys av investering i en fjärrvärmeackumulator*. Länk.
- Uhlen, D och O.H Otterström (2021). *Beräkningsverktyg för småskaliga fjärrvärmesät*. Länk.
- Ulma (2022). *Oljepanna - så fungerar uppvärmningen av din bostad med oljeeldad värmepanna*. Länk. [2023-05-08].
- (u.å.). *Akkumulatortank*. Länk. [2023-05-10].

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.