



UPPSALA
UNIVERSITET



Självständigt arbete i energisystem 15 hp
Juni 2025

Smart energihantering för konsert- & kongresshus i Uppsala

Carl Berkefelt, Julia Dyrke, Olivia Granström, Anton Green,
Sigvard Hedström, Erik Holmberg, Fabian Larsson, Alva Strömbeck

Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Examensarbete 2025:11 • ISSN 1654-9392
Uppsala 2025

Smart energihantering för konsert- & kongresshus i Uppsala

Smart Energy Management for Concert & Conference Venues in Uppsala

Carl Berkefelt, Julia Dyrke, Olivia Granström, Anton Green, Sigvard Hedström,
Erik Holmberg, Fabian Larsson, Alva Strömbeck

Hanledare: Anders Larsolle, SLU, Institutionen för energi och teknik
Examinator: Anders Larsolle, SLU, Institutionen för energi och teknik

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: Uppsala universitet: 1FA311
SLU: EX0946

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i Energisystem
Kursansvarig inst.: Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2025
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2025:11
ISSN: 1654-9392
Nyckelord: energieffektivisering, värmelagring, värmeåtervinning, klimatstyrning i byggnader, byggnadsoptimering, klimatskal, inomhusklimat, styrsystem, energisimulering, energianvändning i offentliga byggnader, ventilationssystem, solavskärmning, solkraft, värmeväxlare, LED-belysning, isolerade fönster.

Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Sammanfattning

I Sverige står energianvändningen inom byggnader för cirka 40 procent, vilket gör byggnader till en central del i arbetet med att minska klimatpåverkan och främja hållbar utveckling. En stor del av denna energi används för uppvärmning, ventilation och belysning, vilket innebär att det finns stor potential för förbättring genom tekniska åtgärder och modernisering. Denna rapport undersöker potentiellt energibesparande förbättringar för Uppsala Konsert och Kongress (UKK), en byggnad placerad i centrala Uppsala och som varit i drift i över 18 år. Syftet med denna rapport är att identifiera möjliga energieffektiviseringar, undersöka möjligheten till lokal energiproduktion samt återvinning av intern spillvärme. Fokus ligger på lösningar som är tekniskt genomförbara och ekonomiskt rimliga inom ramen för en planerad renovering.

Resultaten visar att implementering av moderna tekniker såsom att ersätta befintlig belysning med LED-lösningar, installera behovsstyrd ventilation (DCV) och införa solavskärmning kan leda till betydande energiförbättringar. Installationen av solceller uppskattas kunna generera cirka 187 MWh per år men är något begränsat av huvudsäkringen, medan förbättring av fönster såsom extra glasrutor eller energiglas kan minska förlusterna med upp till 40 procent. Att lagra överskottsvärme från konserter med hjälp av ackumulatortankar eller fasförändringsmaterial (PCM) har begränsad effekt men kan bidra till att minska effekttoppar och öka flexibiliteten i systemet. Däremot visar värmeåtervinning från ventilationsluft från kök på en högre besparingspotential. De mest effektiva insatserna identifierades som förbättrad fönsterisolering och behovsstyrd ventilation samt byta ut till LED-belysning och solavskärmning. Sammanfattningsvis kan en genomtänkt kombination av åtgärder bidra till både energieffektiv och hållbar drift av byggnaden.

Nyckelord: Energieffektivisering, värmelagring, värmeåtervinning, klimatstyrning i byggnader, byggnadsoptimering, klimatskal, inomhusklimat, styrsystem, energisimulering, energianvändning i offentliga byggnader, ventilationssystem, solavskärmning, solkraft, värmeväxlare, LED-belysning, isolerade fönster.

Abstract

As global energy demand continues to rise so does the urgency to reduce greenhouse gas emissions and transition towards more sustainable energy solutions. In Sweden the building sector accounts for approximately 40 percent of the country's total energy consumption, identifying the mayor need for improvements. This report investigates the potential energy optimization measures for Uppsala Concert and Congress Hall (UKK) after 18 years in operation. The aim of this project is to identify potential energy saving actions, investigate the possibility of implementing local energy production as well as recovering internal energy. The focus is on solutions that are technically feasible and economically viable within the scope of the planned renovation.

The study investigates various energy measures for Uppsala Konsert and Kongress. The results show that implementing new more modern techniques such as replacing current lightning with LED solutions, implementing dynamic demand controlled ventilation (DCV) and implementing solar shading show high energy savings. Implementing solar panels can generate around 187 MWh/year, but is somewhat limited by the main fuse capacity, and window improvements such as adding an extra panel or replacing them with energy efficient windows can reduce heat losses by up to 40 percent. Storing waste heat from concerts with thermal energy storage such as tanks and phase change materials offers limited impact, however such systems could help reduce peak loads. However heat recovery from ventilation air in the kitchen has higher potential. The most effective measures were identified as improved window insulation, demand controlled ventilation as well as replacing lightning with LED solutions and implementing solar shading. In summary, a well-considered combination of these actions can contribute to both energy efficient and sustainable building operations.

Keywords: Energy efficiency, thermal energy storage, heat recovery, indoor climate control in buildings, building optimization, ventilation system, building envelope, indoor climate, energy simulation, energy use in public buildings, solar shading, solar power, heat exchanger, LED lighting, insulated windows, control systems.

Förord

För att genomföra projektet *Smart energihantering för konsert- & kongresshus i Uppsala* har Therese Fernlund vid STUNS bidragit med värdefull kunskap om att arbeta i grupp och med olika förhållningssätt till projektarbeten. Vidare har det dataunderlag som tillhandahållits av Uppsala Arenor och Fastigheter möjliggjort en initial förståelse för den aktuella situationen och utgjort en grund för projektets fortsättning.

Innehåll

1	Inledning	6
1.1	Syfte & frågeställningar	7
2	Material och Metoder	8
2.1	Isolerade fönster	10
2.2	Solavskärmning	11
2.3	Styrssystem till ventilation	11
2.4	Värmeväxlare	12
2.5	LED-belysning	12
2.6	Värmeåtervinning från kök	12
2.7	Värmelagring från konserter	14
2.8	Solkraft	15
3	Resultat	16
3.1	Energiförsörjning	16
3.1.1	Potentiell ekonomisk vinst	17
3.2	Åtgärder för att minska energikonsumtionen	19
3.2.1	Isolerade fönster	19
3.2.2	Solavskärmning	20
3.2.3	Belysning	21
3.3	Lagra överskottsvärme från konserter	21
3.4	Värmeåtervinning ventilationsluft kök	22
3.4.1	Fläktenergi - driftförluster	23
3.4.2	Netto återvunnen värme per månad	23
3.4.3	Ekonomisk besparing vid elvärmescenario	24
3.4.4	Ekonomisk besparing vid fjärrvärme	26
3.5	Datorsimuleringar av olika lösningar	27
4	Diskussion	32
5	Slutsatser	36

1 Inledning

Energibehovet ökar stadigt över hela världen, och i snabbt växande ekonomier som Kina och Indien förväntas energiförbrukningen fördubblas inom de kommande decennierna (IEA, 2024). Samtidigt är dagens energiförsörjning fortfarande starkt beroende av fossila bränslen som olja, gas och kol, vilka står för cirka 80 procent av den globala energianvändningen (IEA, 2022). Denna utveckling driver på utsläppen av växthusgaser och förvärrar den globala uppvärmningen, vilket gör behovet av energieffektivisering och omställning till hållbara lösningar allt mer akut.

För att vända denna utveckling krävs insatser inom flera olika sektorer, inte minst inom byggnader som står för ungefär 40 procent av Sveriges totala energibehov (Regeringen, 2024).

Majoriteten av energianvändningen inom energisektorn för byggnation av hus och dess underhåll består av uppvärmning. Energianvändningen i denna sektor varierar mycket mellan år, på grund av varierande utomhustemperaturer. En byggnads energianvändning består av den energi som går ut vid uppvärmning, nedkylning och tappvarmvatten och fastighetsel. Uppvärmningsbehovet uppstår framförallt från förluster från väggar, fönster, golv, tak samt energiförluster från ventilations-system. Under vissa perioder kan även behovet att sänka byggnadens inomhustemperatur för att uppnå komfortkyla vara nödvändigt. Fastighetselen består av allt från apparater till belysning och hissar (Boverket, 2025a).

Byggnader har en lång livslängd vilket betyder att beslut som tas i dag kan påverka decennier framöver. Energieffektiviseringen inom byggnadssektorn kan minska utsläppen av kväveoxider, partiklar och flyktiga organiska ämnen. Små och stora åtgärder kan införas för att minska energianvändningen som justering av ventilation, byta ut ineffektiva fläktar och pumpar (Naturvårdsverket, 2024). Fördelarna med att energieffektivisera en byggnad är inte bara den sparade energin, utan är även ekonomisk gynnsamt då många banker erbjuder lägre låneräntor till fastigheter med energiklass A eller B (RISE, 2025)

Uppsala lider av kapacitetsbrist på sitt elnät som många andra storstäder. Kapacitetsbristen uppstår främst under kalla vinterdagar då effektbehovet är som störst och under 150-200 timmar per år (Uppsala kommun, 2021). Detta beror på att efterfrågan i Uppsala har ökat på grund av utvecklingen av staden, ökningen av antalet elbilar och förändrade beteendemönster kring energianvändning. Elanvändningen har ökat snabbare än utvecklingen av ny elproduktion och utvecklingen av transmissionsnätet (Uppsala kommun, 2025). Uppsala är en av Sveriges snabbast växande städer (Uppsala kommun, 2024), vilket understryker behovet av energieffektivisering och andra åtgärder för att minska energianvändningen.

I centrala Uppsala ligger Uppsala Konsert och Kongress beläget, en byggnad på 14 600 kvadratmeter som vardagligt förkortas UKK. Byggnaden ägs och förvaltas av Uppsala Arenor och fastigheter, ett kommunalt bolag som förvaltar flertalet kända byggnader och anläggningar i Uppsala som bland annat Fyrishov och Studenternas. UKK invigdes år 2007, och är med sina 8 våningar, 5 scener, re-

staurang och konferenslokaler ett centrum för kultur och evenemang i Uppsala. Årligen anordnas hundratal konserter, möten, konferenser och kongresser. Efter 18 år i drift står byggnaden nu inför en renoveringsfas, för att i framtiden kunna bli mer energieffektiv och samtidigt minska driftkostnaderna

1.1 Syfte & frågeställningar

Syftet med denna rapport är att undersöka hur byggnaden UKK kan energieffektiviseras genom att identifiera åtgärder med hög besparingspotential, kartlägga interna flöden som går att återvinna samt undersöka möjligheterna för en lokal energiproduktion. De frågeställningar som vi kommer att utgå från för att försöka besvara syftet är följande:

- Vilka åtgärder har störst potential att minska energianvändningen i byggnaden?
- Finns det möjlighet att återvinna restenergi från interna flöden?
- Finns potential att producera egen energi?

2 Material och Metoder

För att kunna planera för framtida energianvändning och energieffektiviseringar görs ett antal antaganden. Ett antagande är att endast interna energiflöden inkluderas. Gällande dessa flöden är värmeåtervinning från köket samt konsertsalar de som undersöks. Gällande intern energiproduktion undersöks enbart möjligheten att producera energi från solceller. Störst potential för besparing bedömdes finnas i ventilation, värmeväxlare, solavskärmning, och fönsterisolering, därför fokuserar studien på dessa områden. När det kommer till ekonomiska aspekter finns ingen budget, men vi strävar efter ekonomiskt rimliga lösningar. Fokus ligger på lösningar som kan implementeras inom en relativt kort tidsplan i samband med renoveringen som sker i byggnaden.

Arbetet fokuserar i första hand på att kartlägga UKK:s nuvarande energiflöden men även på att identifiera åtgärder för att minska energiförbrukningen i de befintliga systemen. Utöver detta undersöks även möjligheten att integrera nya energisystem i byggnaden. För att tydligt analysera energiflödet i UKK definieras tre nyckelord, energiförsörjning, energibesparingar och energiåtervinning. Denna definition var grunden till datainsamling, analys och visualisering av resultatet. Energiförsörjningen fokuserar på att öka energitillförsel till byggnaden. I UKK:s fall fokuseras det på egenproducerad el från solceller. I energibesparingsdelen analyseras de åtgärder som kan minska energibehovet i byggnaden. Här inkluderas bland annat solavskärmning, energieffektiv belysning och effektiv ventilation. Sist undersöks energiåtervinningen och möjligheten att ta tillvara på överskottsenergi från konserter, kök och evenemang, och om det finns möjlighet att lagra denna värme eller återvinna överskottsvärmen från köket.

För energikartläggningen har befintlig energidata för UKK använts, som beskriver byggnadens energianvändning. Utöver byggnadens energidata har ritningar använts för att mer exakt kunna modellera byggnaden, men också för att kunna undersöka möjlighet till installering av vissa system. För modelleringen av solcellsproduktion har väderdata hämtats från en API-tjänst från SMHI, där den globala solinstrålningen finns tillgänglig för UKK:s geografiska position. Modellen heter STRÅNG och beräknar solinstrålningsparametrar över norra Europa.

Ett exempel på en liknande byggnad som genomgått en energieffektiviserande åtgärd är Göteborgs Konserthus, där åtgärder i ventilationssystemet lett till kraftigt minskad energianvändning. Genom att installera behovsanpassat ventilationssystem (DCV-system) har konserthuset minskat sin energiförbrukning från 1 400 MWh till 700 MWh per år. Systemet anpassar driften efter verksamhetens behov och årstiderna, vilket inte har lett till lägre energiförbrukning utan också bättre inomhusklimat (Higab.M, 2025).

Ett tidigare arbete undersökte potentialen för energieffektivisering i ett storkök vid Västerås lasarett. Genom att beräkna byggnadens aktiva värmebalans, det vill säga energianvändningen för uppvärmning, transmission samt övriga förluster, identifierades energiflöden och eventuella brister i klimatskal samt energisystem. Energieffektiviserande förslag togs fram genom analyser av det befintliga energisystemet. Förslagen bestod av driftoptimering, ombyggnationer och teknikutbyten. Resultatet visade att storköket genererade mycket spillvärme, vilket genom värmeåtervinning kunde minska byggnadens uppvärmning med 24,5%. Även åtgärder som byta av värmeväxlare, justera temperaturer och drifttider resulterade i lägre livscykelkostnader (Norgren.A, Salovaara.T, 2020).

Ett liknande projekt har genomförts i en kontorsbyggnad i Forsmark, där syftet var att kartlägga byggnadens energianvändning samt identifiera potentiella energisparande åtgärder. Med hjälp av simuleringsprogrammet IDA ICE togs en basmodell fram som sedan jämfördes med olika energieffektiviseringsåtgärder. Resultatet visade att byggnadens energianvändning kunde minskas med upp till 41,4%, där den största besparingen uppnåddes genom införande av tidsstyrd ventilation (Al-Hamdany.Y, 2018).

I Sverige finns den så kallade *Plan- och bygglagen* (Sveriges Riksdag, 2025b) samt *Plan- och byggförordningen* (Sveriges Riksdag, 2025a). I enlighet med avsnitt i PBL och PBF har Boverkets bygg- och konstruktionsregler utvecklats, BBR, som innehåller föreskrifter och allmänna råd för byggande (Boverket, 2024). I BBR beskrivs bland annat energihushållningskrav, som ställer krav på energianvändningen i byggnadens driftsskede. Energikravet gäller för alla nya byggnader samt vid ändring av byggnader, som i detta specifika fall för UKKs potentiella renovering.

2.1 Isolerade fönster

En väsentlig del vid beräkning av en byggnads energiförbrukning är dess värmeförluster. En byggnad omges av ett så kallat klimatskal som omfattar de delar av byggnaden som begränsar den från omgivningen, och inkluderar ytterväggar, golv, tak, dörrar och fönster (Brandskyddsföreningen, 2025). För att minimera värmeförlusterna krävs således att klimatskalet är väl isolerat. En beteckning som ger en god indikation på detta är U-värdet som direkt korresponderar mot ytans isoleringsförmåga. Upp till 35% av en byggnads värme kan läcka ut genom fönster (Energimyndigheten, 2022). Därför är det av stor vikt att ha fönster med så lågt U-värde som möjligt. Vad gäller de fönster som finns på UKK:s fasad, är de primärt valda ur ett designperspektiv snarare än ener-

giprestanda. Detaljerad information gällande dess U-värde är således inte tillgänglig. I avsaknad av denna information antas fönstren uppfylla rådande standard vid det aktuella byggåret, med ett U-värde motsvarande $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Boverket, 2006). Den totala arean av UKK som täcks av enbart fönster har med hjälp av ritningar tagits fram till 2430 m^2 . Vid beräkning uppskattades elpriset till $0,75 \text{ öre/kWh}$ baserat på aktuella spotpriser från Vattenfall. Givet SMHI:s medeltemperaturdata för varje månad i Uppsala från föregående år, kunde sedan värmeförlusterna från UKK:s fönster tas fram enligt följande ekvation:

$$Q_{\text{förlust}} = A \cdot U \cdot \Delta T \cdot t \quad [\text{kWh/år}] \quad (1)$$

För att minimera värmeförluster via fönster finns flera möjliga åtgärder. Ett alternativ är att ersätta de befintliga fönstren med energifönster. Ett fönster klassas som ett energifönster om U-värdet är $1,2$ eller lägre (fönster, u.å.). I rapporten antas U-värdet för energifönstret vara $1,0$. En annan möjlig åtgärd är att montera in en extra glasruta, så att fönstret får mer isolerande egenskaper. Detta skulle motsvara ett U-värde på ca $1,3$ (Boverket, 2025b). Huruvida dessa implementeringar är energimässigt och ekonomiskt lönsamma ska även undersökas. I och med att U-värdet är som lägst för energifönster, är detta det mest energieffektiva alternativet. Att installera en extra ruta är dock 60% billigare än att byta till energifönster och kan på så sätt vara mer ekonomiskt motiverat (Grundels Klimatruta, u.å.).

2.2 Solavskärmning

Solavskärmare används för att minska solinstrålningen i byggnader och därmed begränsa värmebelastningen under varma perioder. När solstrålningen träffar ett fönster är det inte all strålning som passerar fönstret in i byggnaden. En viss del reflekteras av glasytan, en del absorberas av glaset och en del transmittas in i byggnaden. Den solstrålning som transmittas in i byggnaden bidrar direkt till en ökad värmelast och därmed ett ökat kylbehov. Den absorberande delen kan delvis stråla inåt i byggnaden, vilket också påverkar inomhustemperaturen. Hur stor del som reflekteras, absorberas och transmittas är beroende på fönstrets och eventuella solavskärmningens egenskaper, såsom glas, beläggning eller skuggande material (H, 2001). Detta undersöks vidare i *Delrapport 3*.

2.3 Styrsystem till ventilation

För att säkerställa en god inomhusmiljö och samtidigt minimera energianvändningen kan olika typer av styrsystem integreras till byggnadens ventilation. Dessa system reglerar luftflödet baserat på olika krav och förutsättningar i byggnaden. Vanligtvis delas dessa styrsystem in i tre huvudkategorier, Konstant, Variabel samt Behovsstyrd. En djupare genomgång av dessa styrsystem återfinns i *Delrapport 5*.

2.4 Värmeväxlare

Värmeväxlare är apparater som möjliggör värmeöverföring mellan två olika vätskor eller gaser med olika temperaturer utan att dessa kommer i direkt kontakt med varandra. Värmen som överförs mellan de två medium överförs genom konvektion och konduktion genom den separerande väggen och mängden värme som överförs är beroende på temperaturskillnaden mellan medierna (Cengel et al., 2017). Olika typer av värmeväxlare förklaras i *Delrapport 6*.

2.5 LED-belysning

Vad gäller belysningen i UKK är majoriteten av de installerade lamparmaturerna halogenlampor och lysrör. Under det senaste decenniet har dock LED-lampan blivit störst på marknaden då den inte bara är den mest energibesparande, utan även den billigaste lampan i och med sin långa livslängd. Att ersätta de befintliga lysrören och halogenlamporna med LED-lampor hade således kunnat minimera energiförbrukningen och kostnaderna i UKK, se *Delrapport 2* för en mer ingående beskrivning.

Totalt finns omkring 1000 lamparmaturer installerade i UKK. Fördelningen uppskattas vara 80% lysrör och 20% halogen, då detta var en vanlig installationsstandard vid det aktuella byggåret (Bring.J, 2018). För att utvärdera vilka potentiella besparingar som skulle kunna erhållas vid en övergång från befintliga ljuskällor till LED-lampor, kommer beräkningar göras baserat på lampornas respektive energiprestanda.

2.6 Värmeåtervinning från kök

Vid undersökningen av potentialen för värmeåtervinning i köket studeras enbart tillagningsdelen, vilket innebär att diskrum, kylrum och grönsaksrum exkluderas. Värmeväxlaren som används som referens är en Lepido från Enjay. Referensvärden från detta system presenteras i Tabell 1. Mer om tekniken bakom värmeväxlaren kan läsas i *Delrapport 4*. I beräkningen används entalpbaserad verkningsgrad för att fånga både värme- och fuktåtervinning, snarare än ren temperaturdifferens. Resultaten ska visa hur mycket energi som kan återvinnas under verkliga driftförhållanden i matlagningsområdet. För att beräkna den potentiella värmeåtervinningen, samt ekonomisk kalkylen användes Excel.

Den indata som sedan används i kalkylen för studien i UKK:s kök redovisas i Tabell 2

Tabell 1: Referensdata för beräkningar

Parameter	Värde
Avluftflöde	2,8 m ³ /s
Tilluftsföde	2,6 m ³ /s
Dimensioneringstemperatur (utomhus)	−10 °C
Avluftstemperatur (driftexempel)	27 °C
Tilluftsssetpunkt	18 °C
Operationstid	16 h/dag
Torr verkningsgrad	55,3 %
Entalpiverkningsgrad (max)	48,9 %
Avluft relativ fuktighet	40,0 %
Tilluft relativ fuktighet	90,0 %

Tabell 2: Indata för energibalans och besparingskalkyl

Parameter	Värde	Enhet
<i>Geometri och luftflöde</i>		
Aktiv volym kök	291	m ³
Luftutbyte n	20	ggr h ^{−1}
Massflöde $\dot{m}$	1,9	kg s ^{−1}
<i>Termiska data (medel)</i>		
Kökstemperatur $\bar{T}_{\text{kök}}$	27	°C
Fukthalt köksluft $W_{\text{kök}}$	0,009	kg kg ^{−1}
Fukthalt uteluft W_{ute}	0,0057	kg kg ^{−1}
Verkningsgrad värmeväxlare η	0,40	–
Drifttid $t_{\text{år}}$	1 400	h år ^{−1}
<i>Energiekonomi</i>		
Fjärrvärmebehov (rumsuppvärmning)	250	kWh m ^{−2} år ^{−1}
Fjärrvärmepris	484	kr MWh ^{−1}
Investeringskostnad (VVX inkl. montage)	300 000	kr

Värmeåtervinningen i köksventilationen beräknas sedan entalpibaserat. Nedan redovisas samtliga termodynamiska samband som använts i studien.

Den specifika entalpin för fuktig luft definieras som

$$h = 1.01 T + \omega (2501 + 1.86 T) \quad [\text{kJ kg}_{\text{da}}^{-1}] \quad (2)$$

där fuktighetskvoten ω erhålls ur

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}. \quad (3)$$

Ångtrycket P_v bestäms via relativ fuktighet, $P_v = RH P_{\text{sat}}(T)$, och mättnadsångtrycket ges av

$$P_{\text{sat}}(T) = 0.61078 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \quad [\text{kPa}]. \quad (4)$$

Densiteten för fuktig luft approximativt

$$\rho = \frac{0.0021678 P_{\text{tot}} (0.622 + \omega)}{T + 273.15} \quad [\text{kg m}^{-3}]. \quad (5)$$

Massflödet beräknas sedan som $\dot{m} = \rho \dot{V}$, där $\dot{V}$ är ventilationsflödet i $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Den teoretiskt återvunna värmeeffekten ges av

$$\dot{Q}_{\text{rec}} = \dot{m} \Delta h \eta_{\text{HX}} \quad (6)$$

där den entalpibaserade verkningsgraden för värmeväxlaren (η_{HX}) antas till 40 % enligt leverantörsdata.

2.7 Värmelagring från konserter

Det tre lagringsmetoderna för värme är sensibel värmelagring, latent värmelagring och kemisk värmelagring. Vid sensibel värmelagring lagras ett medium energi utan fasomvandling. Vid kemisk värmelagring tas energi upp genom endotermiska reaktioner och vid latent värmelagring genomgår mediumet en fasomvandling. Latent värmelagring kan lagra 5-14 gånger mer energi per volymenhet än sensibel värmelagring utan större temperaturförändring. Denna typ av lagring passar sig bra i situationer där hög energitäthet prioriteras, det är ett begränsat utrymme eller en jämn temperatur är önskvärd (Jernkontoret, 2025).

En ackumulatortank är en typ av latent värmelagring som lagrar överskottsvärme till senare användning (Energimyndigheten, 2011). Värmen lagras oftast i form av varmvatten som distribueras vid behov. Installationen av ackumulatortankar har ökat i industrier, flerbostadshus, simhallar och datahallar. Ett exempel på detta är Thunder, projektet handlar om att utnyttja överskottsvärmen från datahallar (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2024). En PCM (phase change material) tar upp värme från en värmekälla med högre temperatur än den själv. Detta kan till exempel vara spillvärme eller värme från en människokropp. PCM tar då upp värmen genom en fasförändring, vanligtvis fast till flytande form. PCM:et tar då upp värmen som lämnar omgivningen svalare och PCM med en högre temperatur i form av latent värme som är redo att utnyttjas. Värmen frigörs sedan i en närliggande värmekälla (Agyenim.F, 2010).

FTX-ventilation är ett från- och tilluft system med värmeväxling. Detta innebär att när den varma inomhusluften passerar systemets värmeaggregat så värms den kalla inkommande utomhusluften. FTX-system har däremot ingen möjlighet att lagra denna värme (Svensk Ventilation, 2019), vilket kan vara relevant i en byggnad som UKK som har en väldigt stor variation i sin energianvändning

under olika dagar och vid olika event. PCM och ackumulator tank undersöktes för att bedöma energieffektivitet och lönsamhet vid installation.

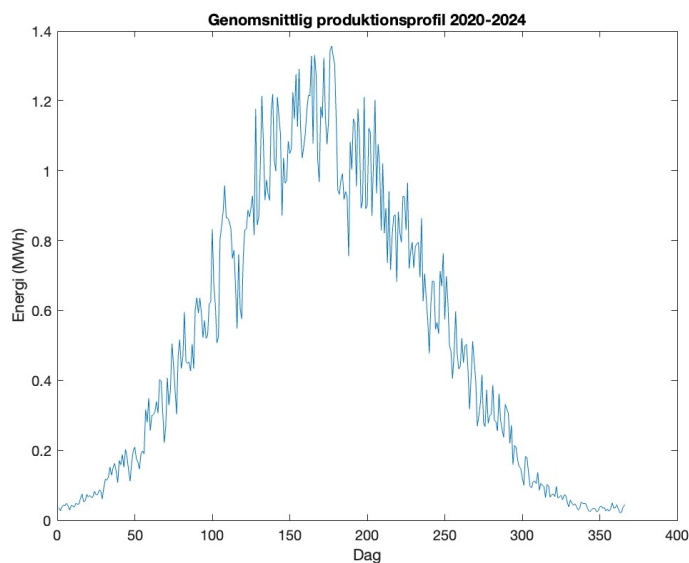
2.8 Solkraft

Solkraft fungerar genom att ta tillvara på solens energi och omvandla den till elektrisk energi. Det finns flera olika faktorer som påverkar hur mycket energi som kan utvinnas, men den främsta är mängden solinstrålning som träffar panelerna. Det finns idag tre framträdande typer av solceller; monokristallina-, polykristallina- och tunnfilms-solceller (Elibol.E et al., 2016). Detta arbete utgår från monokristallina solceller. Monokristallina solceller är uppbyggda av två separata lager av kisel som är n- respektive p-dopade. n-dopingen innebär ett överskott av elektroner, och p-dopingen ett underskott eller hål. Mellan dessa lager finns ett område som kallas p-n-junction”. När de två lagrena först sätts samman flödar elektroner från n-lagret till p-lagret på grund av den naturliga gradienten, detta område är därmed fullt. När solljus träffar det övre n-lagret slås elektroner loss, som tvingas genom ett elektriskt fält. Detta flöde av elektroner kan alstras som elektricitet i anslutning till en yttre krets (The Australian National University, u.å.). Monokristallina solceller skiljer sig från polykristallina i avseendet att kiselet består av en enda kristallstruktur, medan det i polykristallina består av flertalet olika (Sommerfeldt.N et al., 2016).

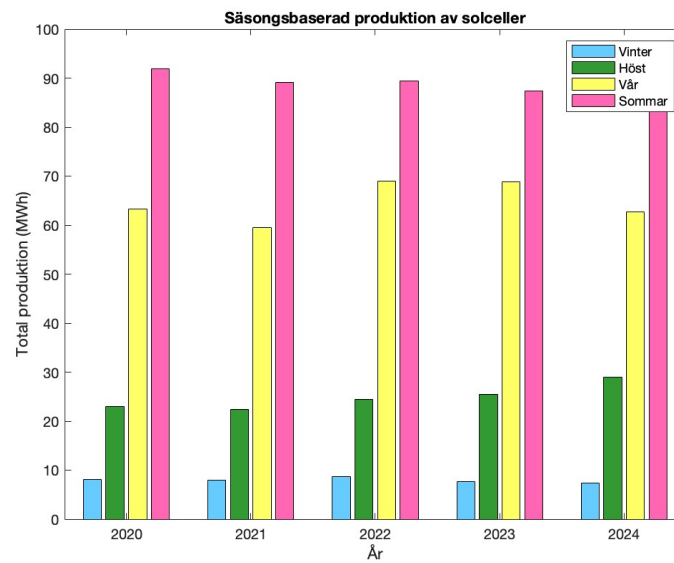
3 Resultat

3.1 Energiförsörjning

I figur 2 visas den genomsnittliga produktionsprofilen för solcellsanläggningen för åren 2020 till och med 2024. Den producerade energin per dag visas på y-axeln, medan x-axeln visar dag på året. För samtliga år varierar solcellsproduktionen från dag till dag, från 0 till strax under 1400 kWh, med som högst produktion generellt under sommaren vilket även visas i figur 3. Produktionsmaximum för samtliga år sker under sommaren, följt av vår, höst och lägst produktion sker under vintern.



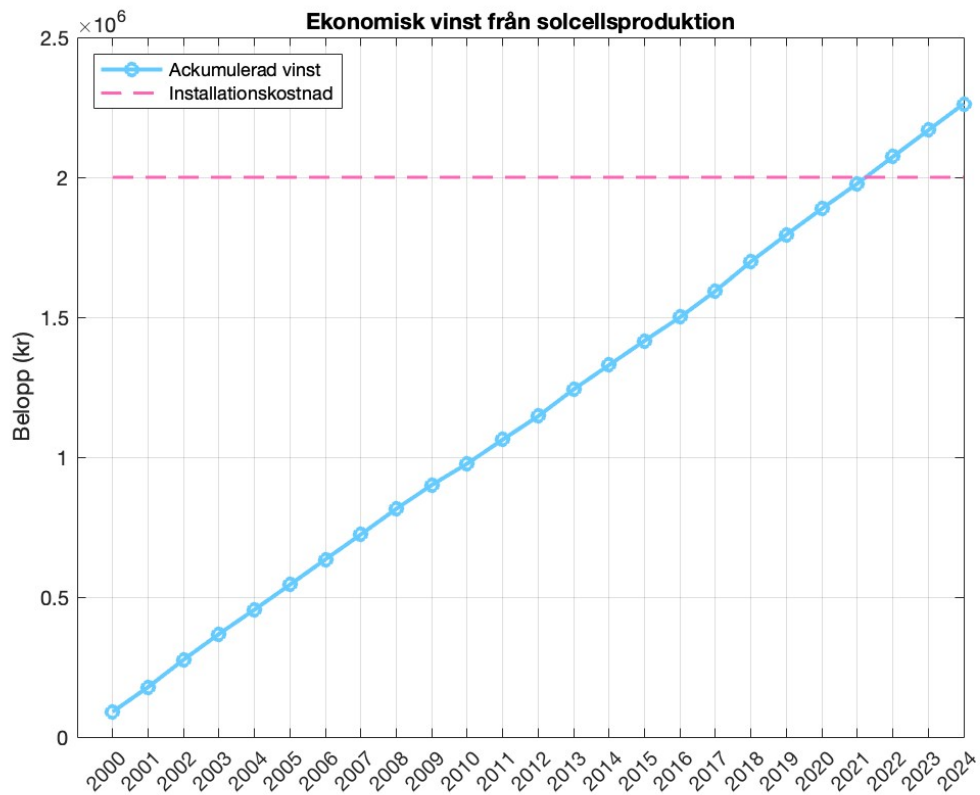
Figur 2: Genomsnittlig produktionsprofil för åren 2020-2024. Produktionsmaximum sker under sommaren, med en daglig produktion på 1357 kWh som högst dag 177.



Figur 3: Säsongsbaserad produktion för åren 2020-2024

3.1.1 Potentiell ekonomisk vinst

I detta avsnitt presenteras lönsamhetsberäkningar för solcellsanläggningen. Se *Delrapport 1* för noggrannare beskrivning av underlag samt resultatet.

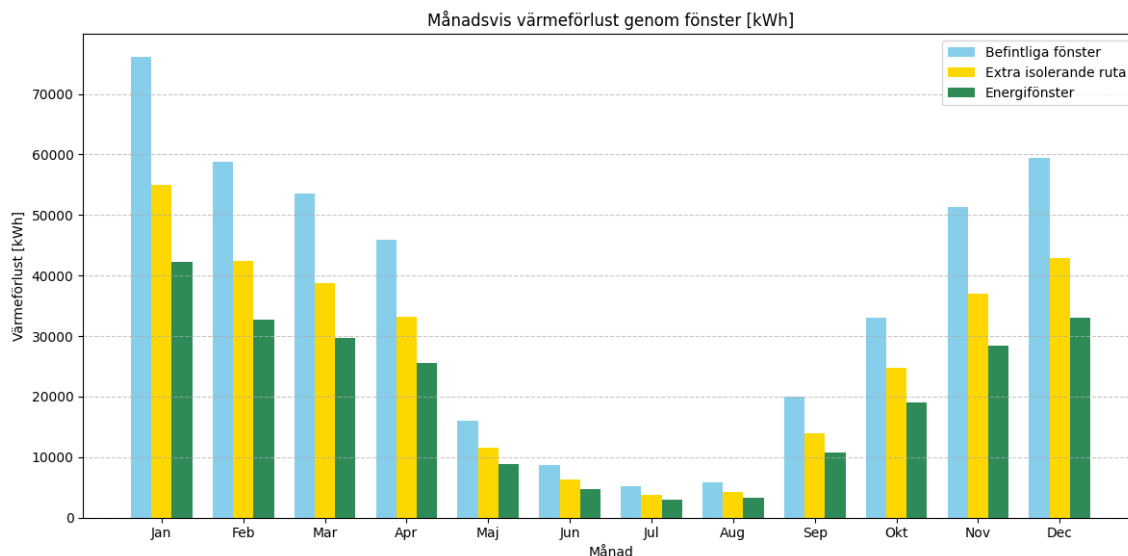


Figur 4: Potentiell ekonomisk vinst från solcellsproduktionen med genomsnittligt spotpris på elmarknaden och årsbaserad produktion.

I figur 4 kan ses att det baserat på genomsnittligt spotpris på elmarknaden mellan 2020 och 2024 och årsbaserad produktion tar cirka 21 år för solcellsanläggningen att bli lönsam. I *Delrapport 1* finns den ackumulerade ekonomiska vinsten baserat på genomsnittligt elpris per säsong och säsongproduktion. Vid denna beräkning tar det cirka 16 år för solcellsanläggningen att bli lönsam.

3.2 Åtgärder för att minska energikonsumtionen

3.2.1 Isolerade fönster



Figur 5: Jämförelse av värmeförluster vid olika fönsterlösningar.

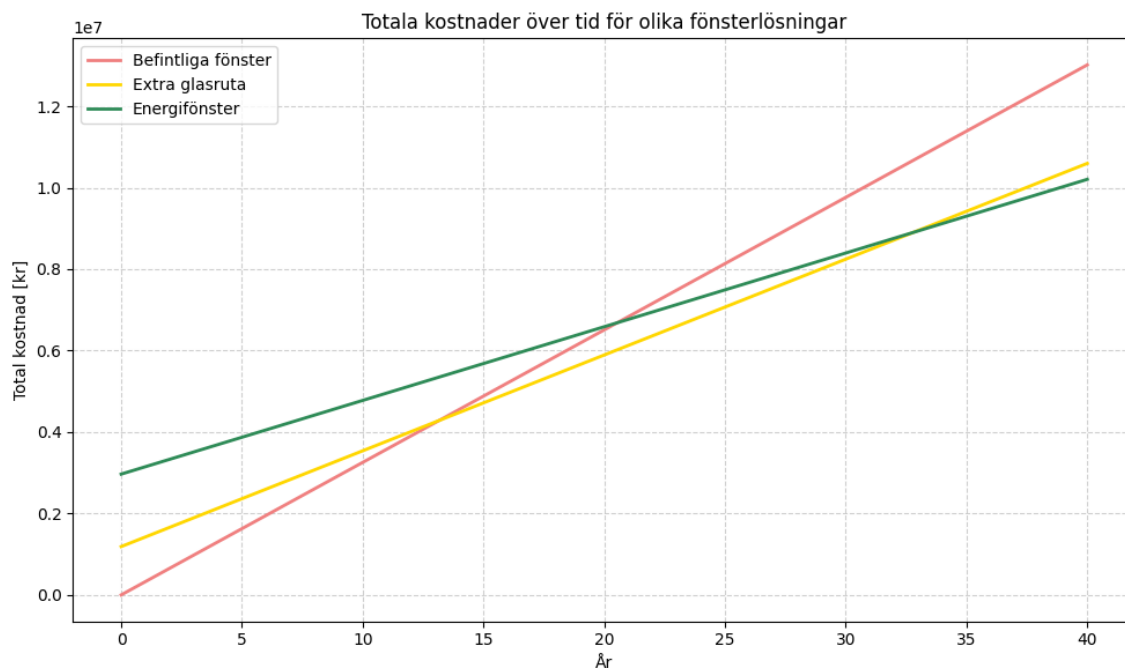
I Figur 5 visas värmeförlusterna som sker via fönsterna på UKK:s fasad. De totala värmeförlusterna i dagsläget uppgår mot ca 434 MWh per år, med de största förlusterna under vinterhalvåret då skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturen är som störst. Om fönstren skulle ersättas med energifönster skulle värmeförlusterna istället bli 241 MWh per år. Att komplettera med en extra isolerande glasruta skulle generera värmeförluster motsvarande 314 MWh årligen. Att ersätta eller modifiera de redan befintliga fönsterna skulle därmed minska värmeförlusterna med 45% respektive 28%.

Tabell 3: Kostnadsanalys vid byte av fönster

Typ av fönster	U-värde	Värmeförlust [kWh/år]	Kostnad förluster [kr/år]	Inköpspris [kr]
Befintliga fönster	1.8	433 905	325 429	0
Extra isolerande glasruta	1.3	313 706	235 279	1 186 717
Energifönster	1.0	241 312	180 984	2 966 793

I Tabell 3 kan man avläsa att de två fönsterinstallationerna skulle innebära lägre värmeförluster än i dagsläget, i synnerhet då fönsterna ersätts med energifönster. Denna implementering skulle dock innebära den största investeringskostnaden, motsvarande ca 3 miljoner kronor. Det något billigare

alternativet, att lägga till en extra glasruta, skulle kosta omkring 1,2 miljoner kronor.



Figur 6: Totala kostnader för olika fönsterlösningar över en 40-årsperiod.

Utifrån Figur 6 kan man se att implementeringen av en extra glasruta skulle bli lönsam efter ca 14 år. Om energifönster skulle installeras, skulle det ta ca 21 år för att nå lönsamhet. Efter ca 40 år, är det dock energifönstren som är det mest kostnadseffektiva alternativet.

3.2.2 Solavskärmning

För denna del har kylenergibehovet för UKK antagits uppgå till 45 kWh/m² och år. Värdet baseras på byggnadens typiska användningsprofil samt dess omfattande glaspartier, vilket medför ett relativt högt kylbehov. För beräkning av energin som sparas vid implementering av solavskärmare har resultat från delrapport 3 använts. Då kylbehovet är som störst under de varmare månaderna har ett snitt pris för månaderna maj till september mellan åren 2020 - 2024 använts, 42,24 kr/kWh, för beräkning av de ekonomiska besparingarna.

Tabell 4: Möjliga besparingar, energi och ekonomiska, vid implementering av solavskärmning.

Typ av avskärmning	Energi sparad [kWh/år]	Ekonomisk besparing [SEK/år]
Utvändig	361 000 - 460 000	153 000 - 194 000
Mellanliggande	33 000 - 263 000	14 000 - 111 000

Utifrån tabell 4 framgår att utvändig solavskärmning ger störst energibesparing i form av minskat kylbehov. Detta innebär även att den ekonomiska vinsten blir störst vid användning av utvändig solavskärmning.

3.2.3 Belysning

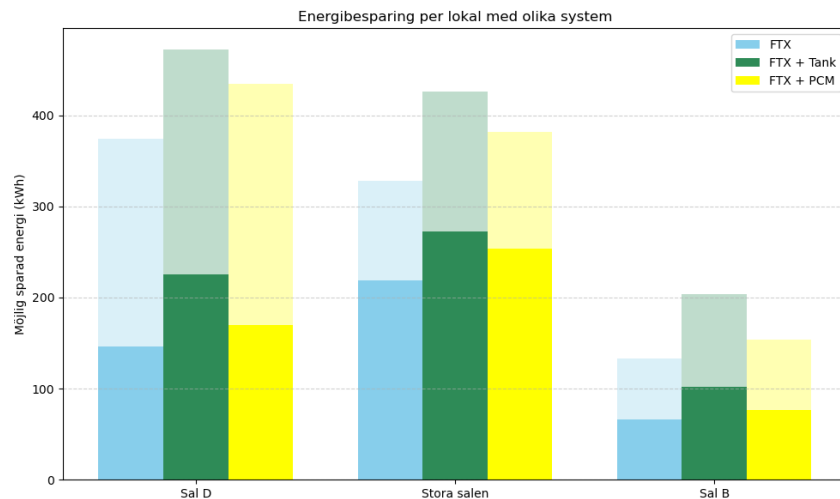
Utifrån Tabell 5 kan man se att LED-lampan är det mest energi- och kostnadseffektiva alternativet med en årlig elförbrukning på 55,8 MWh till en kostnad på 42 tusen kronor. Halogen- och lysrörlamporna förbrukar sammantaget 161 MWh el årligen, till en kostnad på 120 tusen kronor. Om LED-lampor skulle ersätta de befintliga lamporna skulle elförbrukningen för belysning kunna minska med upp till 65%.

Tabell 5: Möjliga besparingar vid byte av ljuskälla

Lamptyp	Antal	Effekt [W]	Livslängd [h]	Inköpspris [kr]	Tot energianv [kWh/år]	Tot elkostnad [kr/år]
Halogen	200	50	6000	30	62050	46538
Lysrör	800	20	10000	60	99280	74460
LED	1000	9	35000	80	55845	41884

3.3 Lagra överskottsvärme från konserter

I denna del undersöks möjligheten att lagra den överskottsvärme som produceras av människor under en konsert, event, biosittning eller mingel i någon av UKK:s lokaler. Därför undersöktes ett evenemang på 3 timmar i Stora Salen, Sal D och Sal B vid full kapacitet vid olika event. Eftersom värme avgivningen från en människa varierar mycket beroende på hur mycket de rör sig så undersöktes alla lokaler utifrån de olika evenen de håller.



Figur 7: Figuren visar möjlig energibesparing per lokal vid olika systemlösningar för värmeåtervinning och lagring.

Figuren visar möjlig sparad energi (kWh) vid ett 3 timmar evenemang med full beläggning i Sal D, Stora salen och Sal B. Jämförelsen görs mellan FTX (värmelagring från luften), FTX med ackumulatortank (värmelagring i vatten) och FTX med PCM (latent värmelagringsmaterial). I Figuren kan man se att ackumulatortanken gav den största mängden lagrad värme. Ackumulatortanken sattes till 3 kubikmeter eftersom det var medelstorleken för liknande projekt och byggnader i samma storlek. Den sparade upp till 100 kWh mer i Sal D och Stora Salen än vid endast FTX. I Figuren kan man också se den stora variationen av de olika evenemang som hålls i lokalen (representeras av den del av skuggade delen av grafen). Detta beror på att människor emitterar mer värme men också att salarna rymmer mer personer under ett mingel än en sittning.

3.4 Värmeåtervinning ventilationsluft kök

Tabell 6 redovisar de årsmedel som erhållits när de i avsnitt 2.1.6 angivna indata-parametrarna omsatts i energibalansen. Massflödet har beräknats av kökets volym, antaget luftutbyte och frånluftens densitet, medan entalpiskillnaden bygger på de antagna medeltemperaturerna och fukthalterna i från- och uteluft. Med en entalpbaserad verkningsgrad på 40 % ger detta en återvunnen effekt på 15,7 kW. Multiplikerad med 1 400 ekvivalenta full-lasttimmar per år resulterar det i 22 MWh återvunnen värme.

Tabell 6: Beräknade årsmedel för återvunnen värme och energibesparing

Beräknad post	Värde	Enhet
Densitet frånluft $\rho_{\text{från}}$	1.16	kg m ⁻³
Massflöde $\dot{m}$	1.4	kg s ⁻¹
Entalpiskillnad Δh	27.8	kJ kg ⁻¹
Verkningsgrad värmeväxlare η	0.40	–
Återvunnen effekt $P_{\text{återv}}$	15.7	kW
Drifttid per år $t_{\text{år}}$	1 400	h år ⁻¹
Återvunnen energi brutto $E_{\text{återv}}$	22.0	MWh år⁻¹

För att se en mer detaljerade tabell med indata månad för månad se *delrapport 4* bilaga A.1

3.4.1 Fläktenergi - driftförluster

Fläktens egen energianvändning är den enda betydande driftförlusten i värmeåtervinningssystemet och måste därför dras av innan den faktiska besparingen kan fastställas. Tryckfallet över värmeväxlaren uppgår enligt Enjay-datablad till 97 Pa, men för att beakta extra motstånd i kanalsystemet, som böjar, spjäll och övergångar har en extra säkerhetsmarginal på 50 Pa lagts till. Det dimensionerade tryckfallet blir då 147 Pa. I kombination med ett luftflöde på 1,4 m³ s⁻¹ och en fläktverkningsgrad på 60 % ger detta en fläkteffekt på cirka 0,4 kW. Kökets totala drifttid är antaget till 2 070 timmar, vilket då motsvarar strax under 820 kWh el. Detta kommer att reducerar den bruttomässigt återvunna värmen.

Tabell 7: Driftskostnad och energianvändning för VVX-systemets fläkt

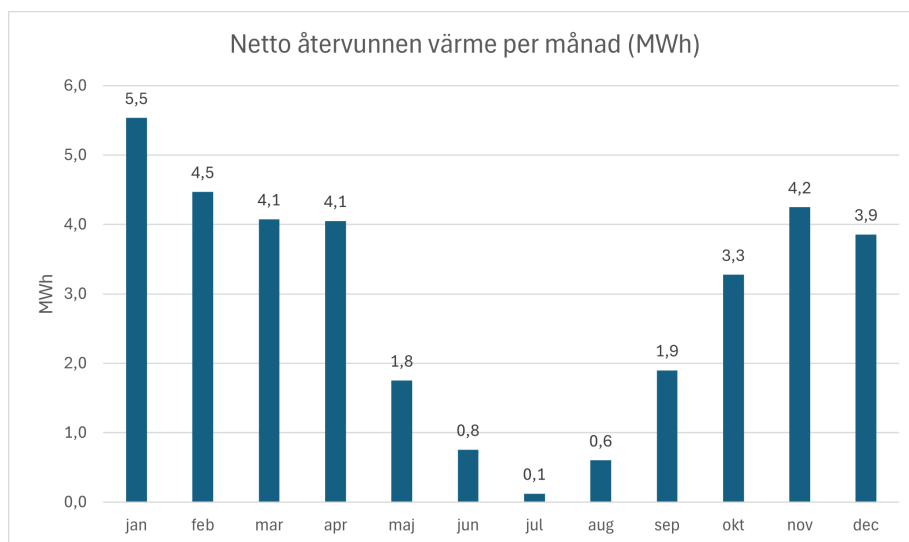
Parameter	Värde	Enhet
Tryckfall enligt Enjay	147,0	Pa
Flöde	1,6	m ³ s ⁻¹
Verkningsgrad fläkt	0,60	–
Effekt	0,4	kW
Energikostnad (=användning)	828	kWh år ⁻¹

För en mer detaljerad beskrivning av driftförluster månad för månad se *Delrapport 4* bilaga A.2

3.4.2 Netto återvunnen värme per månad

När systemförutsättningar samt driftförlusterna är angivna kan netto återvunnen värme tas fram. Resultatet av beräkning redovisas i Figur 8. Återvinningspotentialen är som högst under vinter- och tidig vår (jan–apr) med mellan 4-5 MWh per månad, då temperaturskillnaden mellan från- och

uteluft är som störst. Under högsommarmånaderna (jun–aug) sjunker återvinningen till 0,1–0,8 MWh, vilket beror på liten temperaturskillnad och lägre drifttid. Återvinningen ökar sedan successivt igen från september och når 2–4 MWh i november och december. Den kumulativa nettosumman över året blir cirka 21,2 MWh. Vilket är ca 96% av kökets totala fjärrvärmebehov till rumsuppvärmning, eller ca 7,5% av byggnadens total. Denna mängd återvunnen värme ligger sedan till grund för den efterföljande ekonomiska kalkylen.



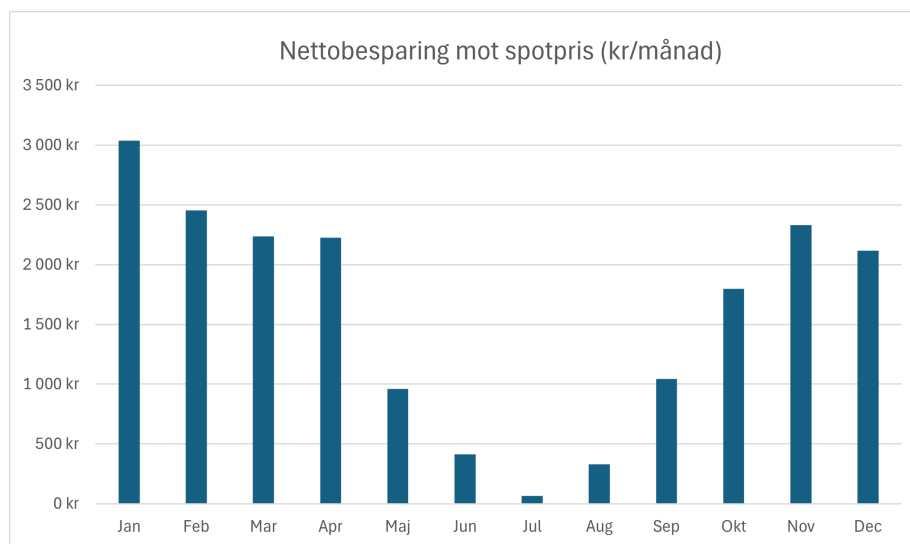
Figur 8: Netto återvunnen värme per månad (MWh).

Den fullständiga månadsvisa uppdelningen av indata (volym, entalpi, fukthalt etc.) och samtliga mellanberäkningar redovisas i Tabell A.1 i Bilaga *Månatliga indata och beräkningsresultat* i *Delrapport 4*.

3.4.3 Ekonomisk besparing vid elvärmescenario

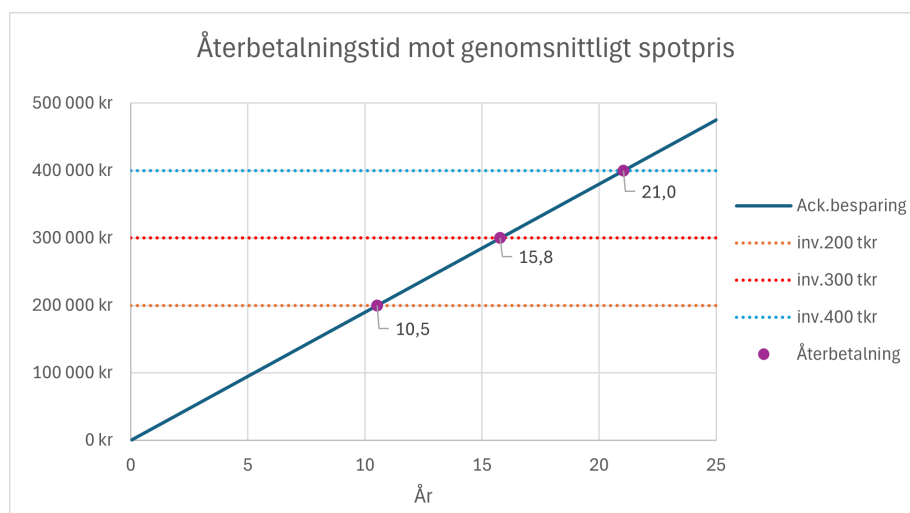
För att bedöma de ekonomiska fördelarna med värmeåtervinningssystemet kalkyleras kostnadsbesparingen först för ett elvärmingsscenario, samt återbetalningstiden för tre olika investeringsnivåer.

I Figur 9 visas den ackumulerade månatliga besparingen (i kronor) om all återvunnen värme ersätter eluppvärmd värme om enbart det genomsnittliga spotpriset skulle betalas, med fläktkostnaden avdragen. Under vinter- och vårmånaderna ger återvunnen värme som mest en månatlig kostnadsreduktion på upp till $\approx 3\,000$ kr. Summan av nettobesparingen efter driftförluster är ungefär 19 000 kr / år enligt angivet spotpris.



Figur 9: Ackumulerad månatlig besparing – elvärmescenario (kr).

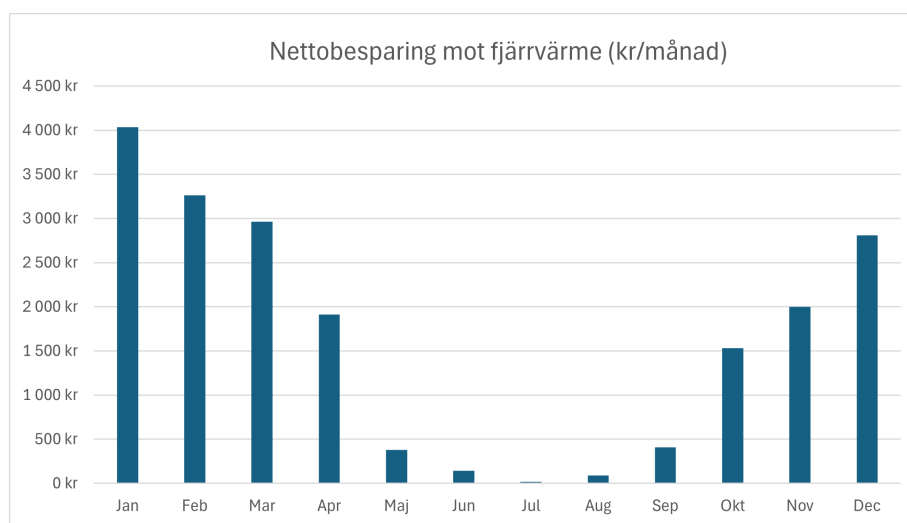
I Figur 10 visas hur de årliga besparingarna ackumuleras över tiden, med horisontella linjer för investeringar om 200 000 kr, 300 000 kr respektive 400 000 kr. Skärningspunkterna mellan besparingskurvan och respektive investeringsnivå anger återbetalningstiden. För en investering på 200 000 kr inträffar återbetalning efter cirka 10,5 år, medan motsvarande tider för 300 000 kr respektive 500 000 kr är ungefär 15,6 år respektive 21 år.



Figur 10: Återbetalningstid – elvärmescenario.

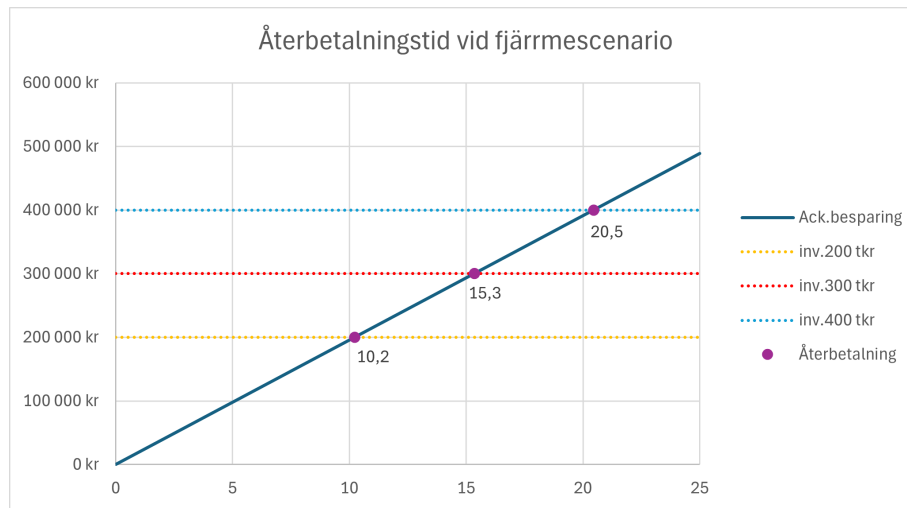
3.4.4 Ekonomisk besparing vid fjärrvärme

Om den återvunna energin ersätter fjärrvärme behöver återbetalningstid och nettobesparing räknas om. Resultatet visar även här en stor säsongsvariation. Olika fjärrvärmepriser samt drifttimar per månad är avgörande. Under uppvärmningsmånaderna januari–mars sparar installationen 3 000–4 000kr per månad, medan besparingen sjunker till några hundralappar under maj–augusti för att sedan stiga igen till omkring 3 700 kr i december. När samtliga tolv månader summeras ger det en årlig nettobesparing mot fjärrvärme på ungefär 19 500 kr / år enligt priset som anges i Tabell 3 i *Delrapport 6*.



Figur 11: Ackumulerad månatlig besparing – fjärrvärmescenario (kr).

Med denna konstanta årsbesparing som grund blir även här återbetalningstiden i hög grad beroende av vad investeringskostnaden är. En satsning på 200 000 kr betalas tillbaka på cirka 10,2 år, medan ett investeringsbelopp på 300 000 kr betalas tillbaka på knappt 15år, och 400 000 kr förlänger perioden till drygt 20,5 år. För mer detaljerad tabell se bilaga A.3 i *Delrapport 4*

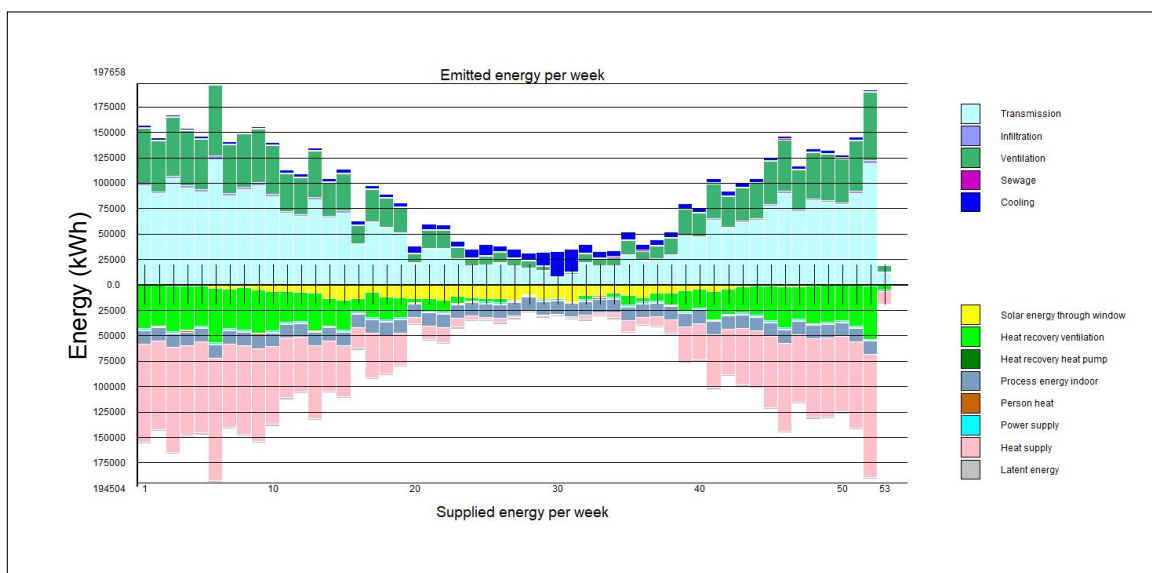


Figur 12: Återbetalningstid – fjärrvärmescenario.

3.5 Datorsimuleringar av olika lösningar

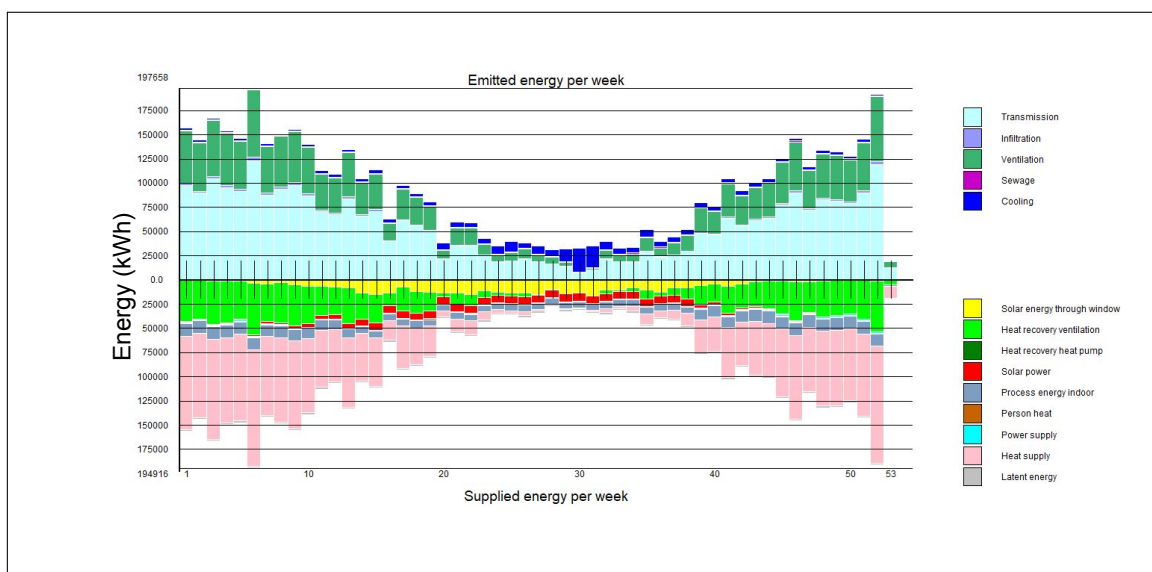
Följande figurer redovisar resultatet från datorsimuleringar där Uppsala Konsert och Kongressbyggnad modellerades och metoder för energibesparingar tillämpades. Samtliga diagram sträcker sig över ett helt år där varje stapel representerar en vecka. Diagrammen är färgkodade efter källan till energikonsumtion respektive energiemiission.

Figur 13 visar energitillförsel och energiemiission för simuleringen då inga energibesparingsåtgärder har tillämpats. Noteras att emissionen huvudsakligen sker i form av transmission och ventilation medan tillförseln främst består av värme och värmeåtervinning från ventilationen.



Figur 13: Emitterad och tillförd energi i byggnaden vid nuvarande förhållanden.

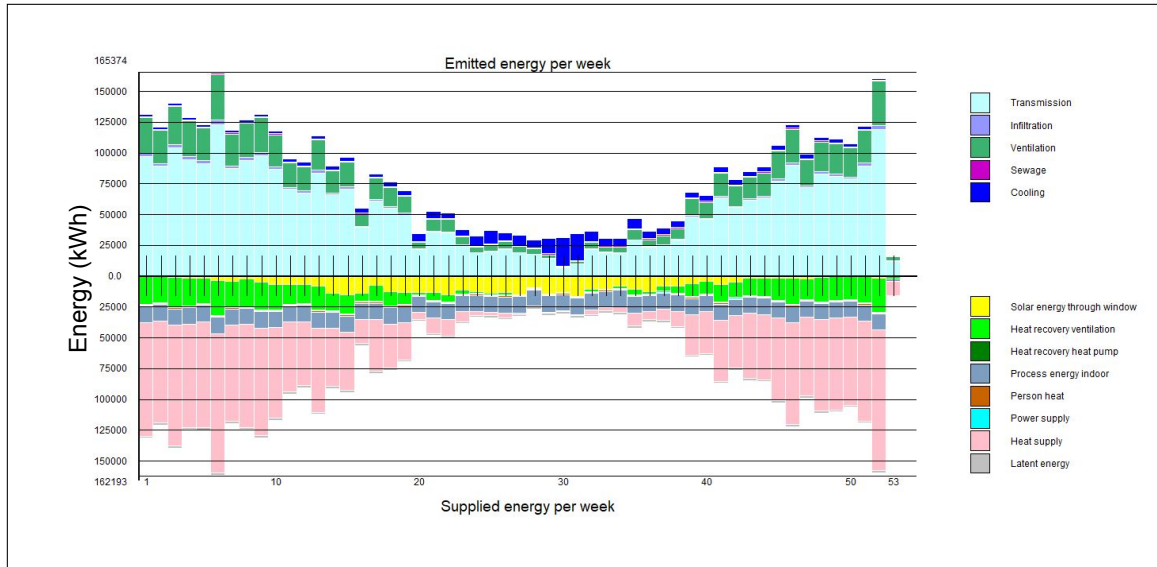
I figur 14 redovisas hur mycket energitillförsel som hade utvunnits då solceller installerades på taket av byggnaden. Solcellerna har samma specifikationer som de som omnämns i metoden.



Figur 14: Emitterad och tillförd energi i byggnaden med solceller inräknade.

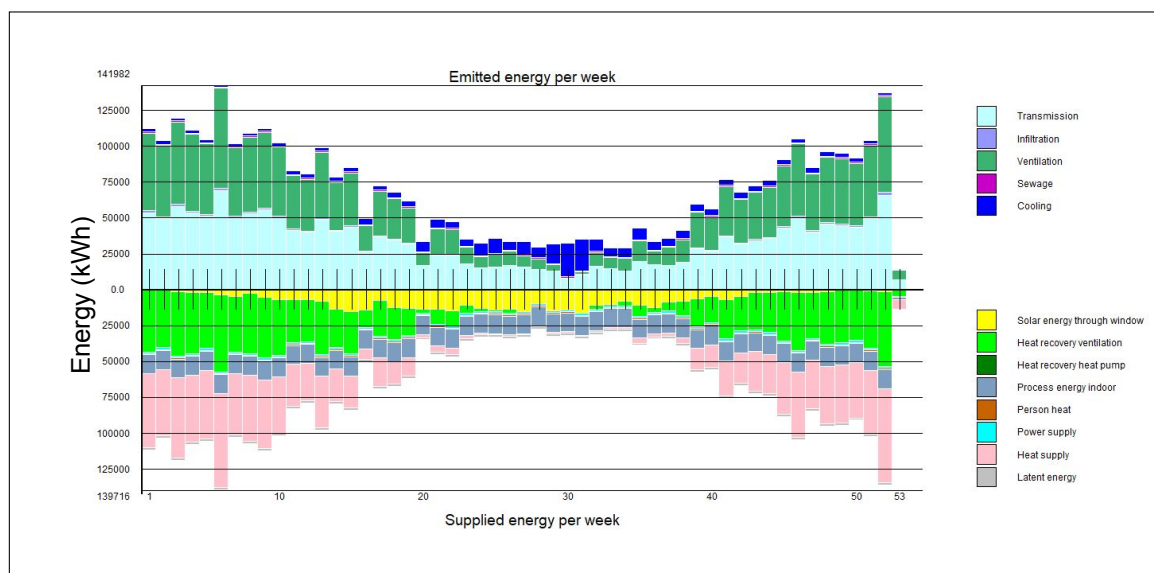
Då DCV-ventilation tillämpas i byggnaden så att ventilationen kan behovsstyras fås energiemi-

respektive tillförsel som visas i figur 15. Enligt figuren hade implementering av ett DCV-ventilationssystem sparat in 700 MWh vilket innebär en minskning med 14,4% och kan därför vara en användbar åtgärd för att effektivisera energianvändningen för Uppsala Konsert och Kongresshus.



Figur 15: Emitterad och tillförd energi i byggnaden med DCV ventilation.

Vid installation av isolerade fönster fås resultatet som visas i figur 16. Denna lösning resulterar i att det emitteras 1210 MWh mindre energi varje år vilket gör det till den mest effektiva av de som prövades i simuleringen.

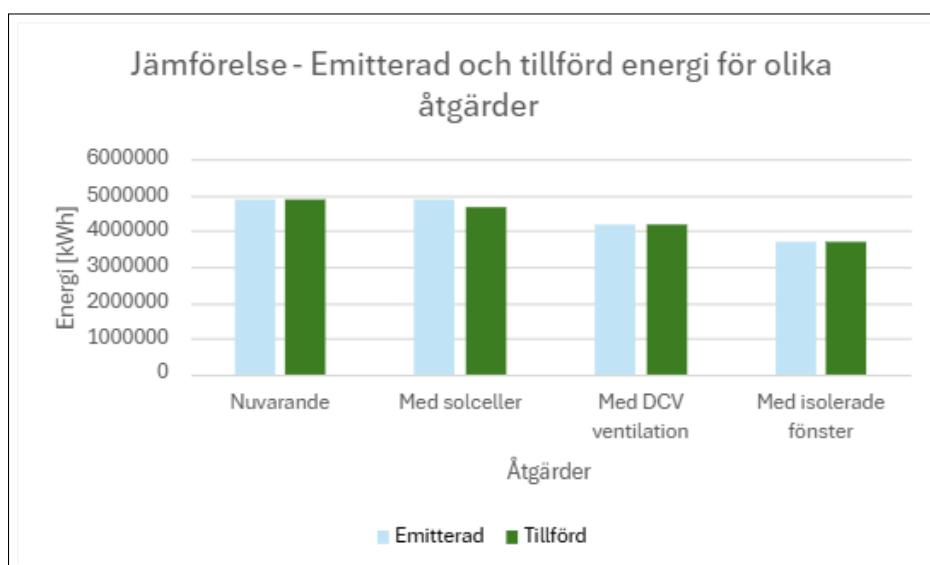


Figur 16: Emitterad och tillförd energi i byggnaden med bättre isolerade fönster.

Figur 17 och Tabell 8 visar en jämförelse mellan de åtgärder som modellerats samt analyserats. Diagrammet illustrerar att fönsterbyten till bättre isolerade alternativ ger den största energibesparingen. Att byta ventilationssystem till ett DCV-system (Demand Controlled Ventilation) resulterar i något lägre besparingar, medan installationen av solceller ger den minst märkbara effekten på energiförbrukningen.

Tabell 8: Energianvändning och besparing vid olika åtgärder jämfört med nuvarande scenario. Besparingen avser tillförd energi.

	Nuvarande	Med solceller	Med DCV ventilation	Med isolerade fönster
Emitterad [MWh/år]	4890,0	4890,0	4180,0	3670,0
Tillförd [MWh/år]	4890,0	4660,0	4190,0	3680,0
Besparing [MWh/år]	0,0	230,0	700,0	1210,0



Figur 17: Jämförelse mellan emitterad och tillförd energi för olika energieffektiva åtgärder.

4 Diskussion

Återvinna värme vid konserter

Den maximala överskottsvärme som kan lagras med hjälp av en ackumulatortank motsvarar att värma upp ett rum på 100 kvm under ett dygn. UKK har en yta på 14 600 kvm så en ackumulatortank skulle inte bidra med några större värmebesparingar, dessutom används inte salarna varje dag och beräkningarna gjordes då de var fullsatta. Vid uppfångningen av överskottsvärmen vid flera av salarna i ackumulatortanken skulle kräva en större yta eller flera tankar. Överskottsvärmen skulle behöva vara större för att det skulle vara lönsamt. Men en lokal lagring skulle kunna minska topplasterna och förbättra självförsörjningen på kort sikt, till exempel värme upp entren till på morgonen då personalen kommer in.

Fasövergångslagring är något mindre effektivt än ackumulatortanken. Ackumulatortankar lagrar värme i form av varmvatten, vilket betyder att de lider av förluster över tid, fördelen med PCM är att de kan lagra värmen under en längre tid, vilket inte tas med i beräkningarna. Dessutom är PCM-system ofta mer kompakta och kan placeras närmare värmekällan, vilket skulle kunna passa sig bättre i en byggnad som UKK.

Både teknikerna är i ett tidigt skede av implementeringen av det i liknande byggnader som UKK, men på grund av den forskning som sker inom ämnet och behovet av att energieffektivisera så kommer säkert mer lönsamma utvecklas inom en snar framtid, särskilt i kombination med smart styrning.

Minimera värmeförluster via fönster

Resultaten från Figur 5 och 16 visar att det finns betydande energibesparingspotential i att ersätta befintliga fönster med energifönster eller att installera en extra glasträcka. Dessa åtgärder reducerar värmeförlusterna med 45 % respektive 28 %, vilket på sikt kan leda till både ekonomiska och miljömässiga vinster. Det är dock viktigt att betona att dessa resultat baseras på flera antaganden som medför osäkerheter.

Ett centralt antagande i modellen är att de nuvarande fönstrens U-värde är 1,8, och att detta kan förbättras till 1,0 vid byte till energifönster. I verkligheten kan U-värdet variera beroende på fönstrets ålder, skick och konstruktion, vilket påverkar såväl den initiala energiförlusten som den möjliga förbättringen. Även den totala fönsterytan i modellen är uppskattad, vilket innebär att resultatet är känsligt för avvikelser från denna parameter. Om den verkliga ytan är större eller mindre än antaget, påverkas energibesparingen proportionellt. Vidare påverkar solinstrålning både uppvärmningsbehov och dagsljusinsläpp. Energieffektiva fönster tenderar att ha lägre solfaktor, vilket kan minska passiva solvinster. Då solfaktorn inte är känd i byggnadens fönster gjordes antaganden även i detta fall.

De ekonomiska beräkningarna bygger också på nuvarande energipriser och installationskostna-

der, vilka kan förändras över tid. Ett framtida högre energipris skulle göra båda åtgärderna mer lönsamma, medan sjunkande installationskostnader genom teknikutveckling kan förkorta återbetalningstiden. Dessa faktorer understryker vikten av att se resultaten som indikationer snarare än absoluta sanningar.

Behovsstyrd ventilation

Simuleringen för UKK med behovsstyrd ventilation visar en tydlig besparingspotential på cirka 700 MWh per år (figur 15). Detta är ett lovande resultat, men det bygger på flera antaganden som kan påverka noggrannheten.

Bland annat har simuleringen utgått från ett antaget driftsschema för ventilationen utan behovsstyrning, där luftflödet hålls konstant. I praktiken kan variationer i driftstider och lokalernas användning påverka detta. Dessutom har fasta värden använts för fläktarnas verkningsgrad, tryckfall, luftflöden och FTX-systemets återvinningsgrad – parametrar som kan variera beroende på systemets skick och faktiska driftförhållanden. För DCV-systemet antas att till- och frånluften kan styras dynamiskt efter lokalernas belastning, vilket förutsätter att sensorer och styrsystem fungerar korrekt. Begränsningar i reglerteknik, zonindelning eller installation kan dock påverka hur väl detta fungerar i praktiken. Sammantaget ger simuleringen en bra indikation på energibesparingspotentialen, men resultatet bör ses som en idealiserad uppskattning.

Installera solavskärmare

Resultatet visar tydlig att valet av solavskärmning har stor påverkan på både energianvändning och driftkostnader. Den utvändiga solavskärmningen uppvisar den högsta energibesparingen, 362 000 - 460 000 kWh per år, vilket motsvarar upp till 70% av det antagna kylbehovet för UKK. Endbart sett från den besparade energin ger detta en potentiell ekonomisk besparing på upp till ca 194 000 kronor per år, vilket gör lösningen attraktiv sett från ett ekonomisk perspektiv. Från delrapport 4 fås att den utvändiga lösningen är också den dyraste, vilket gör att den kan vara svår att motivera inom en begränsad budget. Den utvändiga lösningen bär även nackdelen att den har ett större underhållsbehov då den utsätts för yttre faktorer så som väder och smuts.

Sett från UKK:s arkitektur, med stora och framförallt långa fönster, så kan det bli svårt att installera traditionella fönstermarkiser då dessa skulle behöva orealistiska dimensioner för att operera optimalt. Det finns flertalet andra typer av utvändiga avskärmare som exempelvis fasadlameller och screenmarkiser (se t.ex SunOff för exempel av produkter). Den mellanliggande solavskärmningen ger betydligt lägre besparingar, med ett spann på 33 000 till 263 000 kWh per år eller 14 000 - 111 000 kr per år. Trots att energibesparingen är lägre än för den utvändiga lösningen kan denna typ av avskärmning vara relevant i sammanhang där utvändig montering av tekniska eller estetiska skäl inte är möjligt. Även för den mellanliggande lösningen finns flera olika alternativ, exempelvis persienner och olika slags solfilmer som placeras mellan glasen. Både utvändiga och mellanliggande solavskärmningen kan kombineras med styrsystem för en mer effektiv och optimerad drift.

Det är dock viktigt att betona att denna analys utgår från ett schablonvärde för kylbehovet (45 kWh/m² och år), vilket innebär en viss osäkerhet i resultatet. Ett verkligt energibehov skulle behöva verifieras genom mätdata, vilket inte fanns tillgänglig vid beräkningen.

Ersätta lysrör och halogenlampor med LED-lampor

Vad gäller belysningen i UKK visar resultatet i Tabell 5 att det finns en stor besparingspotential, både ekonomiskt och energimässigt, vid en övergång till LED. Det finns dock flera osäkerhetsfaktorer som bör beaktas. Inköpspriset för lampor kan variera kraftigt beroende på val av modell och återförsäljare, och i vissa fall kan hela armaturer behöva bytas vid konvertering från halogen till LED, vilket ökar investeringskostnaden. Vidare är antalet armaturer, samt fördelningen mellan halogen- och lysrör, baserat på uppskattningar. Avvikelser från dessa antaganden kan påverka beräkningarna av både besparing och återbetalningstid. Trots detta indikerar resultaten tydligt att LED är det mest kostnadseffektiva alternativet över tid, särskilt med tanke på lampornas längre livslängd och lägre energiförbrukning.

Egen energiproduktion

Enligt resultaten som kan ses i sektion 3.1 kommer en solcellsanläggning på UKK generera användbar el i storleksordningen MWh per år. Genomsnittsproduktionen för tidsperioden 2020 till och med 2024 ligger på 190 MWh årligen. Det som begränsar solcellsproduktionen är anläggningens huvudsäkring som i dagsläget är på 400 A. För att inte överbelasta byggnadens interna elanläggning och säkringen ska gå har solcellsanläggningen dimensionerats till ungefär hälften av den arean som finns tillgänglig på taket. Bakgrunden till dimensioneringen finns närmare beskrivet i *Delrapport 1*. Hade man inte haft huvudsäkringens kapacitet att förhålla sig till hade man kunnat uppnå en dubbelt så hög produktion, uppskattningsvis. De totala installationskostnaderna hade blivit högre i och med att fler solceller skulle behöva installeras, men priset per kvadratmeter av solceller sjunker vid större anläggningar. Därmed skulle man få ut mer el till ett lägre pris vid en större anläggning på taket, och det skulle även bidra till högre grad av självförsörjning för byggnaden.

Vid implementering av solceller i datorsimuleringen undersöktes potentiella energibesparingar. Resultatet visade en årlig elproduktion på 230 MWh, vilket är något högre än i den tidigare undersökningen. Denna skillnad förklaras av variationer och osäkerheter i beräkningsmetodik mellan simuleringen och analysen i sektion 3.1. Osäkerheter kan uppstå till följd av antaganden om solcellernas tekniska specifikationer samt variationer i väderdata, eftersom solinstrålningen i simuleringen baserats på ett enskilt år. Det förutsätts dessutom att solcellerna fungerar utan driftstörningar och med konstant verkningsgrad, vilket kan avvika från verkliga förhållanden.

Även om energibesparingen från solcellerna är mindre än den som uppnås genom fönsterisolering eller installation av ett DCV-system, visar Figur 4 att solcellerna utgör en mer kostnadseffektiv investering. Till skillnad från övriga åtgärder kräver solcellerna dessutom inget direkt utbyte av

husets befintliga komponenter, vilket gör dem till ett enklare alternativ ur ett praktiskt perspektiv.

Värmeåtervinning kök

Beräkningen visar att värmeväxlaren kan återvinna cirka 22 MWh / år. Resultatet ligger mycket nära den storleksordning som anges i RISE-förstudien Energiåtervinning av smutsig luft för typiska storkök. I förstudien analyserades både ett snabbmatskök och ett skolkök; det senare liknar UKK:s driftprofil och visar på en återvinningspotential om ungefär 25 MWh / år (Larsson.O., 2015). Skillnaden mellan studierna förklaras främst av indata. RISE antar 260 dagar $\times$ 5 h dag¹, medan denna studie utgår från 230 dagar $\times$ 6 h dag. Dessutom skiljer sig luftflödet något – 1,4 kg / s här jämfört med 1,6 kg / s hos RISE – och de använder en temperaturverkningsgrad på 60–69 %, medan vi räknar med en entalpiverkningsgrad på 40%. Dessa avvikelser i drifttid, luftflöde och verkningsgrad medför ett något annorlunda årsresultat, men sammantaget bekräftar RISE-förstudien att den beräknade besparingen i UKK-köket ligger i rätt storleksordning.

Vidare visar RISE-förstudien att drifttid och luftflöde är de två avgörande faktorerna för hög värmeåtervinning. Hamburgerrestaurangen ventilerar cirka 15 h per dygn med ett dimensionerande flöde på 30 ACH, medan skolköket ligger på 5 h per dygn och 20 ACH. Kombinationen av längre öppettid och högre luftflöde gör att restaurangen kan återvinna 99 MWh / år, vilket är ungefär fyra gånger mer än skolköket (Larsson.O., 2015).

5 Slutsatser

Projektet visar att Uppsala Konsert & konsert har stor potential att minska sin energianvändning genom en kombination av tekniska åtgärder. Den totala energianvändningen i UKK simulerades till 4900 MWh/år. De mest effektiva åtgärderna är förbättrad fönsterisolering och behovsstyrd ventilation (DCV), där besparingar på 1200 MWh/år respektive 700 MWh/år kunde göras. Utvändig solavskärmning kan minska kylbehovet med upp till 460 000 kWh/år, medan den mellanliggande lösningen uppgick till högst 263 000 kWh/år. Ett byte till LED-belysning ger båda energibesparing och snabb ekonomisk återbetalning. Simuleringarna visade att en solcellsanläggning på taken kan generera upp till 230 MWh/år, dock är detta inte möjligt på grund av begränsningar i huvudsäkring. En realistisk mängd egenproducerad el uppgår till 190 MWh/år, där huvudsäkringens begränsningar tagits i beaktning. Möjligheten till värmelagring via ackumulatortank eller PCM är tekniskt intressant men har en begränsad påverkan i dagsläget. Värmeåtervinningen från storköket kan årligen återvinna cirka 22 MWh värme, vilket motsvarar upp till 7,5% av byggnadens årliga fjärrvärmebehov. Besparingarna uppgår upp till 19 000 kr/år vid elvärme och upp till 19 500 kr/år vid fjärrvärme. Sammantaget visar studien att flera åtgärder är ekonomiskt lönsamma på både kort och lång sikt samt att UKK, genom att implementera en kombination av dessa, kan ta viktiga steg mot en mer hållbar och kostnadseffektiv drift.

Referenser

Agyenim.F. A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (Ihtess), 2010. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002469>.

Al-Hamdany.Y. Simulering och energieffektivisering för en kontorsbyggnad i forsmark, 2018. URL <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1264457/FULLTEXT01.pdf>.

Boverket. Energibesiktningsmetoder - ett samlingsdokument, 2006. URL https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2007/energibesiktningsmetoder_ett_samlingsdokument.pdf. Hämtad 2025-05-13.

Boverket. Om boverkets byggregler, bbr, 2024. URL <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/om-boverkets--byggregler-bbr/>. Hämtad 2025-05-14.

Boverket. Beräkning av byggnadens energiprestanda, 2025a. URL <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/for-energiexperter/berakning-av-byggnadens-energianvandning/>. Hämtad 2025-05-09.

Boverket. Energirenovera eller byta fönster och dörrar, 2025b. URL https://www.boverket.se/sv/energiguiden/energirenovera-smahus/5.valja_atgarder/fonster_dorrrar/. Hämtad 2025-05-13.

Brandskyddsföreningen. Täta väggar, golv och tak - klimatskärmen, 2025. URL https://www.boverket.se/sv/energiguiden/energirenovera-smahus/5.valja_atgarder/klimatskarm/. Hämtad 2025-05-13.

Bring.J. Belysningsel i bostäder och lokaler, 2018. URL <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/belysningsutmaningen---portal/rapporter/belysningsel-i-bostader-och-lokaler-statisticon-2018-underlagsrapport-belysningsutmaning.pdf>. Hämtad 2025-05-12.

Y.A Cengel, J.M Cimbala, and R.H Turner. Fundamentals of termal-fluid science, 2017. URL [Upplaga5, NewYork:McGraw-HillEducation](https://www.mhhe.com/cengel/9780077079461).

Elibol.E, Özmen.Ö.T, Tutkun.N, and Köysal.O. Outdoor performance analysis of different pv panel types, 2016. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116305445?via%3Dihub>. Hämtad 2025-05-12.

Energimyndigheten. Ackumulatortankar- får värmen att räcka längre, 2011. URL <https://www.storuman.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/energi/ackumulatortank.pdf>. Hämtad 2025-05-22.

Energimyndigheten. Isolering och tilläggsisolering, 2022. URL <https://www.energimyndigheten.se/effektiv-energianvandning/guider/husguiden-for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt-hus/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/>. Hämtad 2025-05-13.

Era fönster. U-värde - så funkar det!, u.å. URL <https://erafonster.se/nyheter/u-varde/>. Hämtad 2025-05-13.

Grundels Klimatruta. Uppgradera dina fönster till energieffektiva 3-glasfönster, u.å. URL <https://www.grundels.se/grundels-tre-metoder/klimatrutan/>. Hämtad 2025-05-13.

Bülow-Hübe. H. Energy-efficient window systems - effects on energy use and daylight in buildings, 2001. URL <https://lup.lub.lu.se/search/files/6098864/4392986.pdf>. Hämtad 2025-05-20.

Higab.M. Pressmeddelande: Göteborgs konserthus halverar sin energianvändning, 2025. URL <https://www.higab.se/nyhetsarkiv/goteborgs-konserthus-halverar-sin-energianvandning/>.

IEA. Total energy supply by source, 2022, 2022. URL <https://www.iea.org/world/energy-mix>. Hämtad 2025-05-21.

IEA. World energy outlook, 2024. URL <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>. Hämtad 2025-04-15.

IVL Svenska Miljöinstitutet. Smarta affärsmodeller är nyckeln till storskalig återvinning av överskottsvärme, 2024. URL <https://www.ivl.se/press/pressmeddelanden/2024-03-13-smarta-affarsmodeller-ar-nyckeln-till-storskalig-atervinning-av-overskottsvärme.html>. Hämtad 2025-04-21.

Jernkontoret. Lagring av termisk energi, 2025. URL <https://www.energihandbok.se/lagring-av-termisk-energi>. Hämtad 2025-05-09.

Larsson.O. Energiåtervinning av smutsig luft. Technical Report BeLivs projekt BF10, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2015. URL https://www.ri.se/sites/default/files/2021-01/Energi%C3%A5tervinning%20av%20smutsig%20luft_1.pdf. Hämtad 2025-05-23.

Naturvårdsverket. Energieffektivisering i bostäder och lokaler, 2024. URL [https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-bostader-och-lokaler/#:~:text=Bost%C3%A4der%20och%20lokaler%20st%C3%A5r%20f%C3%B6r%20cirka%20en%20tredjedel,och%](https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-bostader-och-lokaler/#:~:text=Bost%C3%A4der%20och%20lokaler%20st%C3%A5r%20f%C3%B6r%20cirka%20en%20tredjedel,och%20)

- 20annan%20utrustning.%20L%C3%A4gre%20energianv%C3%A4ndning%20inneb%C3%A4r%20l%C3%A4gre%20milj%C3%B6p%C3%A5verkan. Hämtad 2025-05-21.
- Norgren,A, Salovaara.T. Energikartläggning och optimering av energisystem, 2020. URL <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1447654/FULLTEXT01.pdf>.
- Regeringen. Uppdrag att genomföra en översyn av systemet med energideklARATIONER enligt direktivet om byggnaders energiprestanda, 2024. URL <https://www.regeringen.se/contentassets/ce7cd7c2134d40538fc16116500f97af/uppdrag-att-genomfora-en-oversyn-av-systemet-med-energideklarationer-enligt-direktivet-0.pdf>. Hämtad 2025-04-17.
- RISE. Energieffektivisering av fastigheter – lönsamt på både kort och lång sikt, 2025. URL <https://www.ri.se/sv/energieffektivisering-av-fastigheter-lonsamt-pa-bade-kort-och-lang-sikt>. Hämtad 2025-05-09.
- SMHI. Luftfuktighet, 2025. URL <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet>. Hämtad 2025-05-02.
- Sommerfeldt.N, af Klintberg.T, and Kristoffersson.J Muyingo.H. Solceller ur flera perspektiv, 2016. URL <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:917865/FULLTEXT02.pdf>. Hämtad 2025-05-12.
- Svensk Ventilation. Bra inomhusluft. dygnet runt, 2019. URL <https://experience.arcgis.com/experience/5dd2b927333246ffae0add1244511c48>. Hämtad 2025-05-21.
- Sveriges Riksdag. Plan- och byggförordning (2011:338), 2025a. URL https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338/. Hämtad 2025-05-14.
- Sveriges Riksdag. Plan- och bygglag (2010:900), 2025b. URL https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-bygglag-2010900_sfs-2010-900/. Hämtad 2025-05-14.
- The Australian National University. Mono-crystalline solar cells, u.å. URL https://physics.anu.edu.au/engage/outreach/_files/Solar%20Panel_Monocrystalline.pdf. Hämtad 2025-05-12.
- Uppsala kommun. Effektdelning för en fungerande elförsörjning, 2021. URL <https://www.uppsala.se/kommun-och-politik/sa-arbetar-vi-med-olika-amnen/Inspiration-for-innovation/effektdelning/>. Hämtad 2025-05-21.
- Uppsala kommun. Folkmängd och befolkningsförändringar 2024, 2024. URL <https://experience.arcgis.com/experience/5dd2b927333246ffae0add1244511c48>. Hämtad 2025-05-21.

Uppsala kommun. Så säkrar vi tillgången på el, 2025. URL <https://www.uppsala.se/kommun-och-politik/sa-arbetar-vi-med-olika-amnen/energi/uppsalaeffekten>. Hämtad 2025-04-17.

Delrapporter

Delrapport 1

Solcellsproduktion och batterilagring

Delrapport 2

Belysning

Delrapport 3

Solavskärmning

Delrapport 4

Värmeåtervinning från köksventilationen för konsert- och kongresshus i Uppsala

Delrapport 5

Styrsystem till ventilation

Delrapport 6

Värmeväxlare