

Delrapport 4

Värmeåtervinning från köksventilationen för konsert- och kongresshus i Uppsala

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

Innehåll

1 Inledning	2
1.1 Frågeställning	2
1.2 Syfte	2
2 Bakgrund	2
2.1 Utmaningar i storkök	2
2.2 Particle Repellent Geometry	2
3 Metod och material	3
3.1 Termodynamiska beräkningar	4
3.2 Fjärrvärmepris	5
4 Resultat	5
4.1 Fläktenergi - driftförluster	6
4.2 Netto återvunnen värme per månad	6
4.3 Ekonomisk besparing vid fjärrvärme	7
5 Diskussion	9
6 Slutsats	9
7 Bilagor	11
A Ekonomisk analys av värmeåtervinningsscenarier	11

1 Inledning

Storkök har bland de allra högsta energibehoven per golvyta i byggnadssektorn. Ventilationen står för en betydande andel av denna energi eftersom luftflödena i köket ofta ligger 4–10 gånger över flödena i övriga lokaler. Det innebär att stora mängder dyrt uppvärmd tilluft blåses bort. Historiskt har värmeåtervinning varit svår på grund av fett, ånga och sot som snabbt sätter igen vanliga värmeväxlare, men nya fettresistenta värmeväxlare, run-around-slingor och avancerad luftrening gör tekniken praktiskt genomförbar.

1.1 Frågeställning

Hur stor absolut (kWh/år) och relativ (%) energibesparing kan Uppsala Konsert & Kongress uppnå genom att installera värmeåtervinning på kökets ventilationsfrånluft, och vilken andel av byggnadens totala fjärrvärmebehov motsvarar det under ett normalt driftår?

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att:

Illustrera potentialen för värmeåtervinning genom ett räkneexempel med Lepido som modell.

Bedöma hur stor del av den totala fjärrvärmebehovet som är rimlig att spara

2 Bakgrund

2.1 Utmaningar i storkök

Ventilationen i ett storkök måste klara mycket höga laster av värme, ånga och fettpartiklar som frigörs från spisar, ugnar och disklinjer, vilket medför stora luftflöden och betydande energiförluster om värmen bara släpps ut. Fett- och sotpartiklar fastnar lätt på värmeväxlarytor och filter, vilket snabbt höjer tryckfallet och sänker verkningsgraden. Därför är robust fettavskiljning och täta rengöringsrutiner avgörande för att värmeåtervinning ska fungera över tid.

2.2 Particle Repellent Geometry

Particle Repellent Geometry är en patenterad teknik från det svenska företaget Enjay. Denna teknik är utformad för att kunna återvinna värme från förorenad luft av fett och sot. Värmeväxlaren har två sektioner av kylmediefyllda, släta rörslingor med extra stora avstånd (20–100 mm mellan raderna och 4–20 mm mellan rören) jämfört med traditionella lamellpaket. Det glesa mellanrummet låter huvuddelen av fett- och sotpartiklar passera utan att träffa rören, vilket ger lågt och stabilt tryckfall.

De få partiklar som ändå fastnar binds först av kondens på rörytan och avlägsnas sedan i en automatisk is-cykel. Köldmediet sänks periodiskt från 0 °C till –60 °C så att kondensen fryser och

expanderande is spräcker avlagringarna, som faller ned i ett uppsamlingskärl. Resultatet är en kompakt värmeväxlare som både återvinner värme ur den varma frånluften och håller sig ren utan filterbyten, kemikalier eller manuell rensning (Lekeberg et al., 2022). En värmeväxlare av denna typ har en maximal temperaturverkningsgrad på 68 %.

3 Metod och material

Vid undersökningen av potentialen för värmeåtervinning i köket studeras enbart tillagningsdelen . Beräkningarna baseras på kökets totala elanvändning under 2024 och referensvärden för en Lepido-värmeväxlare från Enjay (Tabell 1).

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 %

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

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 och psykometriska 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	950	kr MWh ⁻¹
Investeringskostnad (VVX inkl. montage)	300 000	kr

3.1 Termodynamiska beräkningar

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

Den specifika entalpin för fuktig luft definieras som

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

där fuktighetskvoten ω erhålls ur

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}. \quad (2)$$

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

$$P_{\text{sat}}(T) = 0.61078 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \quad [\text{kPa}]. \quad (3)$$

Densiteten för fuktig luft approximativt

$$\rho = \frac{0.0021678 P_{\text{tot}} (0.622 + \omega)}{T + 273.15} \quad [\text{kg m}^{-3}]. \quad (4)$$

Massflödet beräknas sedan som $\dot{m} = \rho \dot{V}$, där $\dot{V}$ är ventilationsflödet i m³ s⁻¹. Den teoretiskt återvunna värmeeffekten ges av

$$\dot{Q}_{\text{rec}} = \dot{m} \Delta h \eta_{\text{HX}} \quad (5)$$

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

3.2 Fjärrvärmepris

För den ekonomiska kalkylen används månadspriser enligt Tabell 3. Priset under vintern är 768kr / MWh, under våren och hösten är det 517 kr / MWh och under sommaren 285 kr / MWh (Vattenfall AB, 2025) .

Tabell 3: Återvunnen värme och pris per månad

Månad	Pris (kr/MWh)	Pris inkl. volymrabatt (kr/MWh)
Jan	768	748
Feb	768	748
Mar	768	748
Apr	517	497
Maj	285	265
Jun	285	265
Jul	285	265
Aug	285	265
Sep	285	265
Okt	517	497
Nov	517	497
Dec	768	748

4 Resultat

Systemföresättningar Tabell 4 redovisar de årsmedel som erhållits när de i avsnitt 3 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 entalpibaserad verkningsgrad på 40 % ger detta en återvunnen effekt på 15,7 kW. Multiplicerad med 1 400 ekvivalenta full-lasttimmar per år resulterar det i 22 MWh återvunnen värme brutto.

Tabell 4: 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}

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 $1,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ och en fläktverkningsgrad på 60 % ger detta en fläkteffekt på cirka 0,4 kW. Över årets 2 070 drifttimmar motsvarar det strax under 820 kWh el, vilket reducerar den bruttomässigt återvunna värmen.

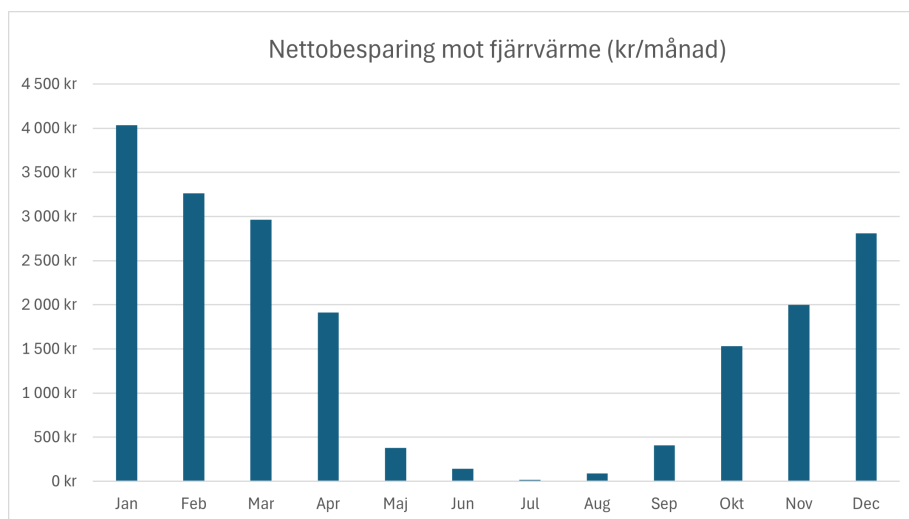
Tabell 5: Driftskostnad och energianvändning för VVX-systemets fläkt

Parameter	Värde	Enhet
Tryckfall enligt Enjay	147,0	Pa
Flöde	1,6	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
Verkningsgrad fläkt	0,60	–
Effekt	0,4	kW
Energikostnad (=användning)	820	kWh år ⁻¹

För en mer detaljerad beskrivning av driftförluster månad för månad se Bilaga A Tabell A.2

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 1. Återvinningspotentialen 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 i juli, 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 21,5 MWh. Denna mängd återvunnen värme ligger sedan till grund för den efterföljande ekonomiska kalkylen.



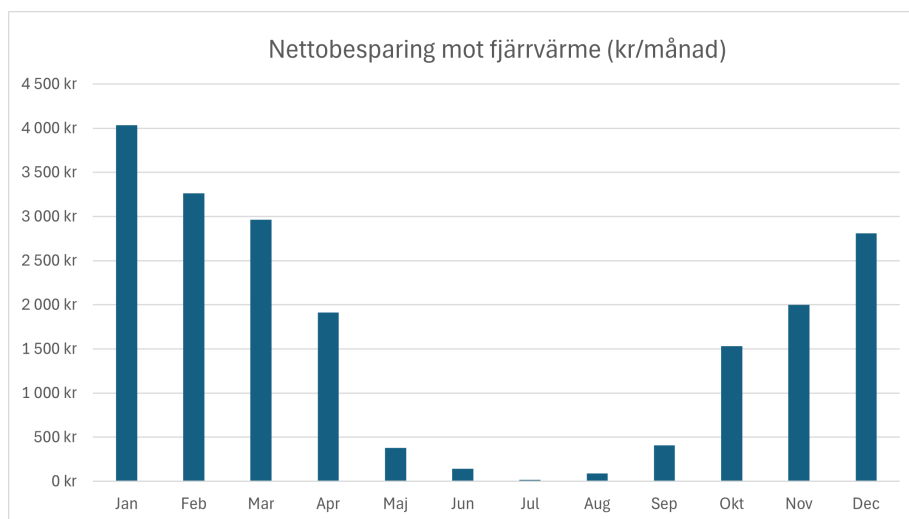
Figur 1: Netto återvunnen värme per månad (MWh).

Den totala nettobesparingen uppgår till 97% av kökets årliga fjärrvärmebehov till rumsuppvärmningen, eller ca 7,5% av byggnadens totala fjärrvärmebehov.

Den fullständiga månadsvisa uppdelningen av indata (volym, entalpi, fukthalt etc.) och samtliga mellanberäkningar redovisas i Tabell A.3 i Bilaga A.

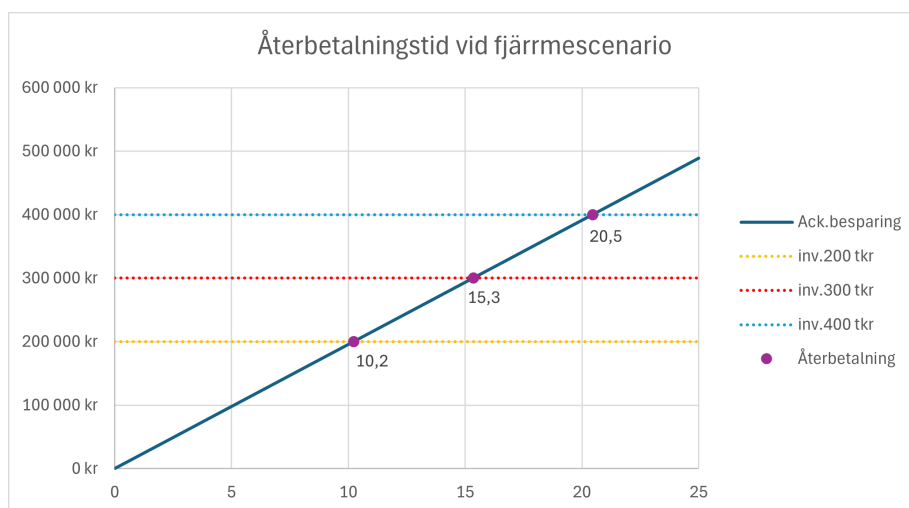
4.3 Ekonomisk besparing vid fjärrvärme

Om den återvunna energin ersätter fjärrvärme behöver återbetalningstid och nettobesparing räknas om. Resultatet visar även här en stor säsongsvariation. Olika fjärrvärmepriser samt drifttider 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 2 500 kr i december. När samtliga tolv månader summeras ger det en årlig nettobesparing mot fjärrvärme på ungefär 19 500 Kr per år.



Figur 2: 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 år, medan ett investeringsbelopp på 300 000 kr betalas tillbaka på knappt 16år, och 400 000 kr förlänger perioden till drygt 20,5 år.



Figur 3: Återbetalningstid – fjärrvärmescenario.

5 Diskussion

Beräkningen visar att värmeväxlaren kan återvinna cirka 22 MWh / år, vilket motsvarar 97 % av kökets rumsuppvärmningsbehov. 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, 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, 2015).

6 Slutsats

Slutsatsen blir att en värmeåtervinningsenhet med ungefär 40 % entalpiverkningsgrad i UKK:s köksventilation återskapar omkring 15,7 kW värmeeffekt under full belastning, vilket över cirka 1 400 drifttimmar ger totalt drygt 22 MWh återvunnen värme årligen. Efter avdrag för fläktarnas elförbrukning (0,8 MWh/år) återstår cirka 21,2 MWh netto, motsvarande cirka 97 % av kökets fjärrvärmebehov för rumsuppvärmning, eller 7,5% av byggnadens totala fjärrvärmebehov. Produktionen varierar över året – högst under vinter/vår (4–5 MWh per månad) och lägst under sommaren (1 MWh/månad).

Ur ett ekonomiskt perspektiv ger detta en årlig driftbesparing på ungefär 17 000–20 000 kr, med de största månatliga vinsterna under kalla månader (3 500–4 000 kr) och marginella besparingar på sommaren. Vid en investeringskostnad på 200 000 kr blir återbetalningstiden cirka 10 år; om kostnaden istället uppgår till 300 000 respektive 400 000 kr förlängs återbetalningen till knappt 16 respektive drygt 20 år.

Det är en relativt lång avbetalning, men det kan vara en del av flera andra lösningar för att göra byggnaden mer energieffektiv.

Referenser

- Larsson, O. (2015). Energiåtervinning av smutsig luft. Technical Report BeLivs projekt BF10, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås. Hämtad 2025-05-23.
- Lekeberg, H., Lekberg, N., and Wirén, J. (2022). A particulate separator unit, a ventilation system comprising such a unit and a method for self-cleaning such unit. Granted to Enjay AB, Malmö, Sweden.
- Vattenfall AB (2025). Prislista fjärrvärme företag, uppsala 2025. PDF-dokument, https://www.vattenfall.se/media/fjarrvarme/orter-foretag/2025/prislista_foretag_uppsala_2025.pdf. Hämtad 2025-05-25.

7 Bilagor

A Ekonomisk analys av värmeåtervinningsscenarier

Tabell 6: Indata och månatliga beräkningsresultat för värmeåtervinning

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Aktiv volym kök (m^3)	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
Luftutbyte (ggr/h)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kökstemperatur medel ($^{\circ}\text{C}$)	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Fukthalt köksluft (kg/kg_{da})	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Densitet frånluft (kg/m^3)	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
Luftflöde $\dot{V}$ (kg/s)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
$h_{\text{frånluft}}$ (kJ/kg)	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2
T_{uteluft} ($^{\circ}\text{C}$)	-4.3	-0.4	2.6	4.6	14.8	17.1	18.3	18.1	13.5	8.9	2.8	0.7
Fukthalt uteluft (kg/kg_{da})	0.0024	0.0031	0.0035	0.0036	0.0068	0.0081	0.0092	0.0097	0.0078	0.0061	0.0042	0.0036
h_{tilluft} (kJ/kg)	1.7	7.5	11.4	13.7	32.1	37.8	41.7	42.9	33.3	24.3	13.2	9.6
Verkningsgrad η	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Återvunnen entalpi (kJ/kg)	19.4	17.1	15.5	14.6	7.2	5.0	3.4	2.9	6.8	10.4	14.8	16.2
$T_{\text{tilluft, efter}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	14.8	16.4	17.9	19.0	21.9	21.9	21.6	21.0	20.1	19.1	17.3	16.7
Återvunnen effekt $\dot{Q}_{\text{rec}}$ (kW)	27.3	24.1	21.9	20.5	10.2	7.0	4.8	4.1	9.5	14.6	20.8	22.8
Drifttid per månad (h)	205	188	189	200	177	113	27	157	206	229	207	171
Återvunnen energi (MWh)	5.6	4.5	4.1	4.1	1.8	0.8	0.1	0.6	2.0	3.3	4.3	3.9

booktabs

Tabell 7: Driftskostnad och besparing för VVX-system per månad

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok
Tryckfall enligt Enjay (Pa)*	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0
Flöde (m ³ /s)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Verkningsgrad fläkt (%)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Effekt (kW)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Energikostnad (kWh/år)	60.9	55.8	56.1	59.4	52.6	33.6	8.0	46.6	61.2	61.2
Nettobesparing (MWh/år)	5.5	4.5	4.1	4.1	1.8	0.8	0.1	0.6	1.9	1.9
Rörligt elpris snitt (kr/kWh)	0.8	0.5	0.6	0.6	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2
Energiskatt inkl. moms (2024) (kr/kWh)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Elnätsavgift (kr/kWh)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Energipris (kr/kWh)	2.5	2.2	2.3	2.2	1.9	1.9	1.9	1.7	1.8	1.8
Besparing (kr/månad)	3038.0	2453.0	2236.0	2223.0	961.0	414.0	66.0	330.0	1043.0	1790.0

Antaget 50 Pa extra tryckfall för rör, böjar , övergångar etc.

Tabell 8: Besparingen månad för månad vid ersättning av fjärrvärme

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	De
Kostnad fjärrvärme, kr/MWh	748	748	748	497	265	265	265	265	265	497	497	748
Besparing, kr/år	4 185	3 384	3 089	2 042	478	209	34	172	520	1 661	2 141	2 920
Kostnad fläktsystem	150	121	127	132	100	65	15	81	112	129	143	112
Nettobesparing, kr	4 035	3 263	2 963	1 910	378	144	19	90	408	1 533	1 998	2 808