



CHALMERS



Återvinning av kondensorvärme från kylmaskiner i skolkök

Kartläggning av tillgång och behov

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

PAULIINA NIEMI
ELIN SAMUELSSON

EXAMENSARBETE BOMX03-16-28

Återvinning av kondensorvärme från kylmaskiner i skolkök

Kartläggning av tillgång och behov

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PAULIINA NIEMI

ELIN SAMUELSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2016

Återvinning av kondensorvärme från kylmaskiner i skolkök
Kartläggning av tillgång och behov

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

PAULIINA NIEMI

ELIN SAMUELSSON

© PAULIINA NIEMI, ELIN SAMUELSSON, 2016

Examensarbete BOMX03-16-28 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bilden är tagen i teknikrummet på Särö skola och visar ledningar från kylsystemet som går till återvinning.

Chalmers reproservice/Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Återvinning av kondensorvärme från kylmaskiner i skolkök

Kartläggning av tillgång och behov

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PAULIINA NIEMI

ELIN SAMUELSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Kylmaskinerna i ett skolkök avger värme och vanligtvis tillvaratas den värmen sällan. Detta examensarbete utreder vilka av byggnadens övriga installationssystem som kan nyttiggöra denna värme, samt hur mycket som kan tas tillvara med respektive system. Undersökningen görs för ett nybyggnadsprojekt av Furulidskolan, med underlag från en befintlig skola som har ett liknande kylsystem. Referensskolan används för att studera variationer i avgivning av värmeenergi från dess kylsystem. Mätresultaten används för att jämföra avgiven värme med värmebehoven hos de systemen på Furulidskolan som är aktuella för återvinning. Detta för att komma fram till vilket av systemen som det passar bäst att återvinna värmen till.

I arbetet studeras tre olika alternativ som anses vara de mest intressanta för att nyttiggöra återvunnen värmeenergi till. Dessa alternativ är värmebatteri i luftbehandlingsaggregatet, golvvärme och förvärmning av tappvarmvatten. Effektberäkningar som gjorts över ett år visar att värmebehovet är störst för golvvärmen. Dessutom är golvvärmen det enda systemet som är igång även under nätterna, vilket gör att överskottseffekten kan tas tillvara under längst tid. På grund av dyra investeringskostnader är det däremot inte den mest lönsamma lösningen och därför inte realistisk att utföra i skolan. Den kostnadsmässigt bästa lösningen för Furulidskolan är att återvinna värme till tappvarmvatten som betalar sig efter ungefär 38 år.

Resultaten visar att i Furulidskolan är det inte ekonomiskt lönsamt att återvinna värmeenergi från kylsystemet, då det är så små besparingar som ges. Dock tas det upp under diskussion att i en skola med ett större kylsystem, då till exempel matlagning sker på plats, hade mer värmeenergi varit tillgängligt för återvinning. Även klimatförhållanden påverkar resultaten eftersom i ett kallare klimat finns ett större behov av värme och därmed kan den återvinningsbara värmeenergin tillvaratas under längre tid.

Nyckelord: Kylsystem, Kylaggregat, Återvinning, Värmeeffektbehov, Värmeenergi, Skolkök

Heat recovery from chillers in school kitchens

Availability and demand

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

PAULIINA NIEMI

ELIN SAMUELSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Chillers in a school kitchen rejects heat from the cooling process, and normally that heat is rarely recovered. This thesis investigates to which of the building's other systems the heat energy can be recycled to, and how much that can be utilized from each system. The investigation is made for the new construction of Furulid School, using an existing School with a similar cooling system as a reference. The reference school is used to study variations in the delivery of heat energy from the cooling system. The measurement results are used to compare the heat emitted with the heating needs of the systems on Furulid school that are relevant for recycling. This in order to find out which of the systems is best suited to recover the heat to.

In this report the three options being studied is considered to be the most interesting for heat energy recovery. These are recycling to the heating battery in air handling units, underfloor heating and pre-heating of domestic hot water. Power Calculations that are made over a year show that the heat demand is greatest for the floor heating. That is because it's the only system that is running during the night and thus can utilize the recovered heat energy for the longest time. However, because of the expensive investment costs, it is not the most profitable solution and therefore not realistic to perform in school. The best solution in terms of cost for Furulid School is recycling to domestic hot water which pays off after about 38 years.

The results show that in Furulid School it is not economically viable to recover heat energy from the cooling system, since the savings given is so small. However, it is brought up in discussion that in a school with a larger cooling system, as for example when the cooking is done on site, then more heat energy would be available for recycling. Climatic conditions also affect the results because during the colder outdoor temperatures, there is a greater need for heating. Because of that the recyclable heat energy recovered can be utilized for more hours.

Key words: Cooling, Chiller, Recycling, Heat power, Heat energy, School kitchens

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställning	3
2 METOD	4
3 DIMENSIONERING AV KYLAGGREGAT	5
4 ÅTERVINNINGSPOTENTIAL FÖR FURULIDSKOLAN	7
5 ÅTERVINNING TILL OLIKA SYSTEM	10
5.1 Återvinning till luftbehandlingsaggregat	10
5.1.1 Effektberäkning	11
5.1.2 Energiberäkning	13
5.1.3 Kostnadsberäkning	16
5.2 Återvinning till golvvärme	17
5.2.1 Effektberäkningar	18
5.2.2 Energiberäkning	22
5.2.3 Kostnadsberäkning	24
5.3 Återvinning till tappvarmvatten	25
5.3.1 Effektberäkning	28
5.3.2 Energiberäkning	29
5.3.3 Kostnadsberäkning	30
6 ANALYS	31
6.1 Jämförelse av värmebehov	31
6.2 Jämförelse av kostnader	36
7 DISKUSSION	37
7.1 Påverkan av kylsystemets storlek	37
7.2 Påverkan av klimatförutsättningar	38
CHALMERS , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete BOMX03-16-28	III

7.3	Felkällor	38
8	SLUTSATS	40
9	REFERENSER	42

Bilagor

Bilaga 1	Utdrag ur dimensionering från Ahlsell
Bilaga 2	Planritning, Furulidskolans kök
Bilaga 3	Ritning, Furulidskolans undre plan
Bilaga 4	Elmätningar, Särö skola
Bilaga 5	Sammanställning, COP-värden

Förord

Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Chalmers tekniska högskola och WSP systems i Göteborg. Idén till arbetet är framtagen med hjälp av Tomas Utterhall på WSP systems.

I första hand vill vi rikta ett tack till våra handledare Torbjörn Lindholm på Chalmers tekniska högskola samt Tomas Utterhall och Simon Ånger på WSP systems Göteborg. De har under arbetets gång visat ett stort engagemang för att driva projektet framåt.

Ett stort tack riktas också till Mikael Ahlström, drifttekniker på Särö skola, för hjälp med mätningar och ett varmt mottagande vid studiebesök på skolan.

Tack även till Andreas Nyberg på FläktWoods, Johansson Mikael på Prema, Jeanette Johansson på LK Systems och Dennis Mårdbrink på Ahlsell för att de har varit till stor hjälp och bidragit med mycket nyttig information till arbetet.

Och slutligen, tack till alla på WSP som varit hjälpsamma och svarat på frågor och bidragit till en trevlig arbetsmiljö.

Göteborg juni 2016

Pauliina Niemi

Elin Samuelsson

Beteckningar

Förkortningar, ekvationsbeteckningar och ordförklaringar som rapporten innehåller.

Förkortningar

DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur
KA	Kylaggregat
KMK	Kylmedelskylare
VÅV	Värmeåtervinnare

Ekvationsbeteckningar

A	Area	$[m^2]$
l_k	Linjära köldbryggans längd	$[m]$
η	Verkningsgrad	$[\%]$
\dot{V}	Ventilationsflöde	$[m^3/s]$
\dot{Q}_{kyla}	Kyleffekt	$[W]$
$\dot{Q}_{värme}$	Värmeeffekt	$[W]$
t	Temperatur	$[^\circ C]$
Δt	Temperaturskillnad	$[^\circ C]$
U	Värmegenomgångstal	$[W/(m^2, ^\circ C)]$
\dot{V}_l	Luftflöde	$[m^3/s]$
\dot{V}_v	Vattenflöde	$[m^3/s]$
\dot{W}_{el}	Eleffekt	$[W]$
X_j	Värmegenomgångstal, punktformig köldbrygga	$[W/(m \cdot ^\circ C)]$
Ψ_k	Värmegenomgångstal, linjär köldbrygga	$[W/(m \cdot ^\circ C)]$
ρ_l	Densitet för luft	$1,2 \text{ kg}/m^3$
ρ_v	Densitet för vatten	$1000 \text{ kg}/m^3$
$c_{p,l}$	Specifik värmekapacitet för luft	$1,0 \text{ kJ}/(\text{kg}, ^\circ C)$
$c_{p,v}$	Specifik värmekapacitet för vatten	$4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}, ^\circ C)$

Ordförklaring

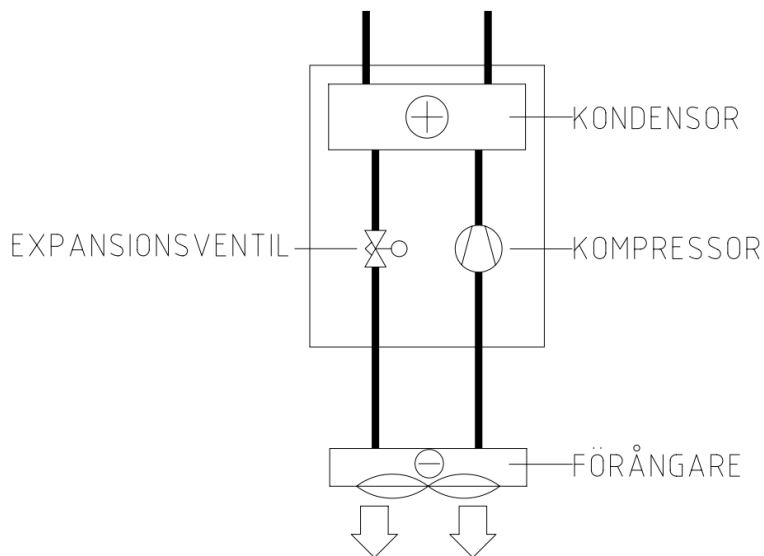
COP	Värme-/ köldfaktor (Coefficient Of Performance) som beskriver förhållandet mellan tillförd och avgiven effekt för en maskin med kompressor (Thermia, 2016).
Kylmedelkylare	Överför avgiven kondensorvärme från en kylprocess till omgivande luft (Armatec, 2008).
Shuntgrupp	Fungerar som en länk mellan vattenburna system. Den överför värme eller kyla från ett system till ett annat med hjälp av styrventiler och ställdon så att önskade temperaturer kan uppnås (Shuntab Sverige AB, 2003).
Akkumulator	Stor tank där värmeenergi kan lagras i form av varmt vatten (Energimyndigheten, 2011).

1 Inledning

I ett vanligt storkök idag är den totala energianvändningen 173 800 kWh/år (Belok, 2015). Det motsvarar ungefär lika mycket energi som hela byggnaden i övrigt använder. Enligt Belok, som är Energimyndighetens beställargrupp för lokaler, skulle Sveriges kommuner kunna spara upp till 127 miljoner kronor genom att energieffektivisera alla skolkök. Av all el- och värmeenergi som används i skolkök idag går 43 400 kWh/år till kyl- och frysrum. Där finns det stor potential att minska energianvändning genom att hitta nya energieffektiva lösningar (Belok, 2015). Kostnadmässigt är det driften som påverkar mest och det kan vara mellan 5-10 gånger dyrare jämfört med investeringskostnaden (Drivteknik, 2016). När en kylanläggning ska nyproduceras eller behöver kompletteras ger det ett bra tillfälle att se över hur energibehovet kan påverkas (Drivteknik, 2016). Utöver att studera hur energianvändningen i ett kök kan minskas skulle det också kunna undersökas hur den befintliga energin från kylanläggningen kan tillvaratas. Till exempel skulle det kunna ske genom återvinning till andra system.

1.1 Bakgrund

I ett skolkök är det viktigt att temperaturer i kyl- och frysrum samt kylskåp är tillräckligt låga så att de klarar kraven för matförvaring. Till varje kyl-/frysrum eller kylskåp är ett kylaggregat kopplat som ser till så att dessa krav tillgodoses. Normalt används en kompressordriven kylmaskin, se illustration nedan. Den fungerar genom att värme tas upp via en förångare. Förångaren är då placerad i det utrymme som ska kylas, till exempel inuti ett kylskåp. Från förångaren förs sedan värmen bort med hjälp av en eldriven kompressor. Därefter avges värmen, på högtryckssidan, genom en kondensor (Trüschel, 2016). Värmen som avges vid denna process utnyttjas vanligtvis inte, utan avges till omgivningen. Det innebär att värmeenergi som hade kunnat användas går till spillo (Utterhall, 2016).



Figur 1.1 Principskiss över kylmaskin (Utterhall, 2015)

WSP Systems projekterar VVS-installationer för nybyggnationen av Furulidskolan i Kungsbäcka kommun och ser en möjlighet att återvinna värmen från kökskylsystemet. WSP Systems har tidigare projekterat ett återvinningssystem för värme från kökskylan i Särö skola och är intresserad av att tillämpa det till Furulidsskolan ifall det skulle vara ekonomiskt genomförbart.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur mycket värmeenergi som avges från ett skolköks kylsystem och hur stor andel av denna värmeenergi som kan tas tillvara. Syftet är också att se vilka av skolans övriga VVS-system som lämpar sig att försörjas av den återvunna värmeenergin, samt att jämföra dessa för att se vilket alternativ som passar bäst utefter effektbehov samt vilket som är mest lönsamt kostnadsässigt.

1.3 Avgränsningar

Som utgångspunkt för detta arbete har de två skolorna Furulidskolan och Särö skola i Kungsbäcka använts som underlag för alla beräkningar. VVS-systemen som studerats har dimensionerats om så att överskottsenergi från kylsystemet har kunnat utnyttjas på bästa möjliga sätt. De tre alternativa lösningar som redovisas i rapporten har med hjälp av WSP Systems uppskattats vara mest lämpliga att ta emot återvunnen värme.

Kungsbacka kommuns projekteringsanvisningar har tagits i beaktande. För teknisk support och dimensionering har leverantörer från tidigare projekt inom WSP kontaktats.

Temperaturdata som använts till effekt- och kostnadsberäkningar har valts från 2012. Det är det senaste året från SMHI som har en fullständig temperaturdata per timme, vilket är viktigt för att kunna göra dessa beräkningar. De data som använts är för Göteborg och då Kungsbacka ligger enbart 3 mil söderut kan klimatet antas vara likvärdigt.

Förenklade modeller och överslagsmässiga beräkningar har gjorts för att hålla sig inom tidsramen för arbetet och dess utsträckning på 15 högskolepoäng.

1.4 Frågeställning

1. Hur mycket värmeenergi avges från Furulidskolans kylsystem och hur stor andel av den energin kan återvinnas?
2. Vilket system är bäst lämpat att återvinna värmen till?
3. Är det lönsamt att återvinna värmen till något av systemen?
4. Kan annorlunda förutsättningar påverka resultaten?
5. Kan återvinning vara lönsamt på andra skolor?

2 Metod

Examensarbetet är utfört i samarbete med Chalmers tekniska högskola och WSP Systems. I arbetet har två skolor i Kungsbacka studerats för att utreda hur mycket värme som kan återvinnas från ett skolköks kylsystem. Fokus har varit på Furulidskolan då det är en skola i projekteringsstadiet och återvinning är möjlig att utföra där. Särö skola valdes som referensobjekt då det är en befintlig skola med återvinningssystem från kylsystemet. I den skolan återvinns värmen till luftbehandlingsaggregatet. Eleffektmätningar har gjorts på denna skola för att få fram mängd återvunnen energi från kylsystemet. Resultaten av dessa mätningar har använts för att se sannolika återvinningsmöjligheter för Furulidskolan. Furulidskolan har ett väsentligt mindre kylsystem än Särö skola och därför har resultaten justerats procentuellt.

På Furulidskolan undersöktes alternativet med återvinning till ventilationssystemet via dess luftbehandlingsaggregat, såsom görs på Särö skola, men även alternativet att försörja ett golvvärmsystem eller ett tappvattensystem via en ackumulatortank. Principskeman för kylsystem samt förslag till ventilationssystem, har varit tillgängliga för Furulidskolan. Dessa har använts som underlag för beräkningar. Då andra VVS-system ej varit färdigställda har dessa behövt dimensioneras med hjälp av konsultation från företag med kompetens inom ämnet. Därefter har beräkningar utförts och systemen kompletterats med egna lösningsförslag för att komma fram till vilket alternativ som är mest fördelaktigt. Systemens lönsamhet har jämförts överslagsmässigt, med hänsyn till både investeringskostnader och driftkostnader.

Under arbetets gång har diskussioner förts löpande med handledare på WSP samt på Chalmers. Till hjälp har även Teknisk support kontaktats på olika företag angående utformning av systemen. Kurslitteratur från Chalmers har använts för större delen av rapportens beräkningar och projekthandlingar från WSPs tidigare projekt har använts som stöd. Dimensioneringsprogrammet ACON har använts för att få fram data till tabeller och varaktighetsdiagram för eftervärmningsbatteriet. Övriga källor finns redovisade under referenser.

3 Dimensionering av kylaggregat

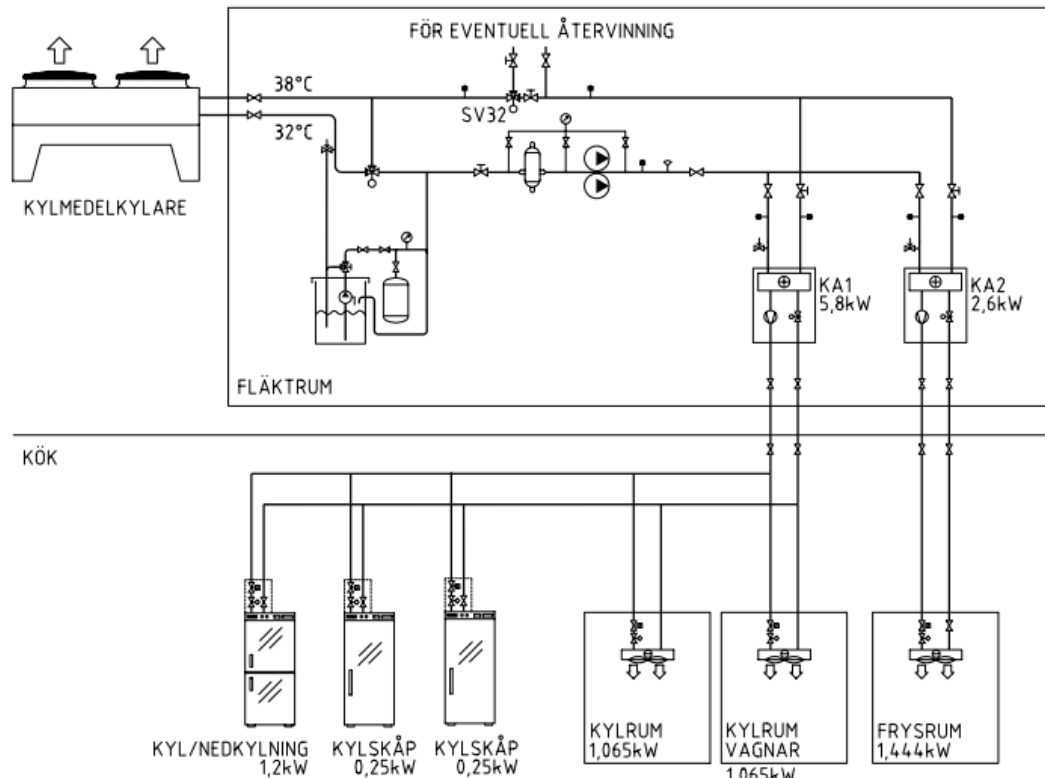
Ett skolkök behöver ett kylsystem som ser till att kyl- och frysrum hålls tillräckligt kalla. Furulidskolans kök försörjs med en kylmedelkylarkrets, vilken består av en kylmedelkylare samt flera kylaggregat som ska täcka anläggningens kyleffektbehov. Kylaggregaten tar upp värme från kyl- och frysutrymmena för att hålla temperaturerna på rätt nivå. Kylmedelkylarens uppgift är att ta hand om den överskottsvärme som bildas i kylprocessen och därefter förse kylaggregaten med nedkyld vätska igen. Överskottsvärmen som tas upp av kylmedelkylaren blir i de flesta fall till spillvärme, men hade kunnat återvinnas till ett av byggnadens övriga system.

För att ta reda på hur mycket värme som kan återvinnas från kylsystemet behövs det först undersökas hur stora kylaggregaten behöver vara och hur mycket värmeeffekt de avger. Storleken på aggregaten beror på kyl- och frysrummens volymer, hur ofta kylutrymmena kommer att användas samt vilka temperaturer som de ska klara av att kyla till. Då det är skolverksamhet som bedrivs i Furulidskolans lokaler antas dörrarna till de kalla utrymmena användas främst under lunchtid. Det medför en ökning av kylbehov då värme från köket tränger sig in till kyl- och frysrum genom de öppna dörrarna. Kylbehov finns dock dygnet runt på grund av transmissionsförluster genom kylutrymmernas väggar. Förutsättningar för dimensionering av kylsystemet är att temperaturer för frysrum bör hålla -21°C och kylrum bör hålla $+3^{\circ}\text{C}$. (Utterhall, 2016) Volymer för kyl- och frysrummen har tagits fram med hjälp av areor från planritningen enligt Bilaga 2 och rumshöjden 2,7m (Callheim, 2016).

Enligt Ahlsells dimensionering i Bilaga 2, så behövs två kylaggregat till kylsystemet på Furulidskolan. Kylaggregat KA1 dimensioneras för tre kylskåp samt två kylrum och kylaggregat KA2 dimensioneras för ett frysrum, se Figur 3.1. För att kunna ta tillvara på värmeenergin kopplas ledningarna från kylaggregaten till ett system för återvinning, innan de når kylmedelkylaren. Figur 3.1 visar hur ledningarna är tänkta att kopplas till eventuell återvinning.

För att få fram hur mycket avgiven värmeeffekt som fås från kylaggregaten vid dimensionerande fall adderas kylkapaciteten för vardera aggregatet med dess tillsatta eleffekt. Resultatet blir total avgiven värmeeffekt från båda aggregaten, vilket används till vidare beräkningar för återvinning. För KA1 blir den maximalt avgivna värmeeffekten 5,8kW och för KA2 blir den 2,6kW. Största möjliga effekt som kan utnyttjas till annat system är den från både kyl- och frysaggregat, dvs.

$$5,8 + 2,6 = 8,4 \text{ kW}$$



Figur 3.1 Principskiss för kylsystemet (Utterhall, 2015). Temperaturerna och effekterna är tagna ifrån Ahlsells dimensionering (Bilaga 1).

Effekten på 8,4 kW kan användas vid eventuell återvinning, via en värmeväxlare, vilket visas i bilden ovan. Dock uppgår effekten till det maximala fallet 8,4 kW endast under lunchtid då dörrar till kyl- och frysrum används och kyl- och frysvaror lastas i och ur. Under resterande del av dagen sjunker effekten när användningen minskar.

Hur mycket överskottsvärme som kan tillvaratas påverkas av aktuella temperaturer i kylmedelkylarkretsen. Enligt Ahlsells dimensionering så ska kylmedelkylaren konstant förse kylaggregaten med vätska på +32°C, detta för att kylaggregaten ska klara av att kyla till rätt temperaturer i kyl- och frysutrymmen. Från kylprocessen avges vätska på +38°C och leds sedan ut till kylmedelkylaren, som sänker temperaturen till 32-gradig vätska igen. Vid återvinning kommer den 38-gradiga vätskan som avges från kylaggregaten att kopplas till ett annat system innan kylmedelkylaren. På grund av att kylmedelkylaren endast kan avge värme, får temperaturen på vätskan som kommer tillbaka från återvinningen vara lägst +32°C. Detta ger ett Δt på maximalt 6°C som kan utnyttjas till ett annat system via en värmeväxlare.

4 Återvinningspotential för Furulidskolan

Eftersom Furulidskolan ännu inte är byggd och Särö skola har ett liknande återvinningssystem som eventuellt ska användas för Furulidskolan har mätningar gjorts på Särö skola. Detta för att kunna uppskatta kyleffekten på Furulidskolan, vilket tillsammans med eleffekten ger den värmeöverkottseffekt som kan utnyttjas.

Mätningar över eleffekten för kylsystemet har gjorts timme för timme, då detta var tillgängligt att göra på Särö skola under en skoldag. Eftersom kylsystemet är oberoende av utetemperaturen kunde mätningarna genomföras en slumpmässigt vald dag för att få fram data under normala förhållanden. Med det menas att verksamheten fungerar likvärdigt under alla vardagar. Enligt personal som jobbar i köket på skolan så varierar inte användningen av köket särskilt mycket från en dag till en annan och därför kan eleffekten antas vara densamma under varje dag (Lundin, 2016). Resultaten framgår i diagrammet nedan.

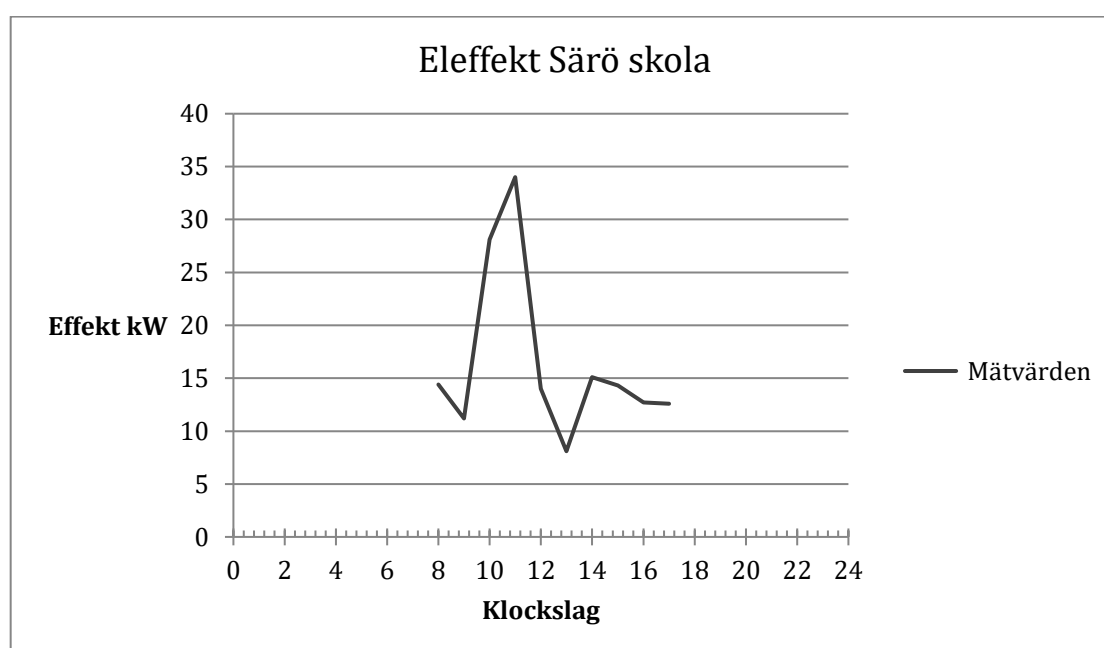


Diagram 4.1 Mätning av eleffekt på Särö skola 19.04.2016.

I diagrammet visas hur eleffekten till för kylaggregaten varierar under skoldagen. Eleffekten är högst vid lunchtid då kyl- och frysrum används som mest. Eleffekten påverkas även vid varuinlastningar som sker främst under förmiddagen samt elevernas mellanmål på eftermiddagen.

Även elmätare lästes av på Särö skola och de avlästa värdena stödjer att elförbrukningen ser likvärdig ut varje dag. Avläsningarna gjordes vid fyra tillfällen inom 28 dagar. Under de 28 dagarna var elenergiförbrukningen 8 807,6 kWh (Bilaga 4). Utifrån det värdet beräknas medelvärdet för eleffekten genom att dela den totala energiförbrukningen med antalet timmar mellan mätningarna. Vid samtliga delmätningar hamnade medelvärdet omkring 13kW (Bilaga 4). Denna medeleffekt

används för att uppskatta effektförbrukningen under natten då mätningar inte har varit möjliga att utföra.

Eftersom att det är skolverksamhet som bedrivs både på Furulidskolan och på Särö skola görs antagandet att elförbrukningen följer samma mönster, se kurvan i diagram 4.1. Däremot blir eleffekten mindre på Furulidskolan på grund av att kylsystemet där är mindre. För att få fram skillnaden beräknas elförbrukningen procentuellt utifrån hur stora kylsystemen på vardera skola är. Kylsystemet på Särö skola är dimensionerat för 129,6kW och kylsystemet på Furulidskolan för 8,4kW. Därmed kan eleffekt från Särö reduceras med

$$\frac{8,4}{129,6} \cdot 100 = 6,5\%$$

Reducerade mätningvärden används för vidare beräkningar och redovisas i form av den svarta linjen i diagrammet nedan.

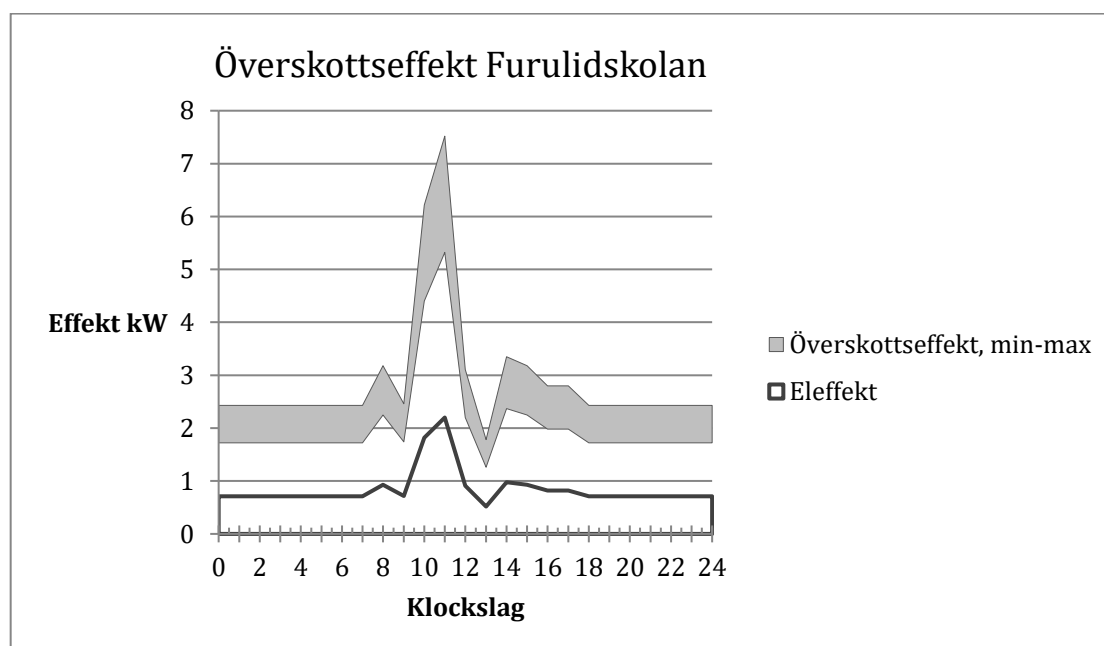


Diagram 4.2 Anpassning av mätningdata till Furulidskolan samt det maximala och minimala möjliga mängd överskottsvärme som avges från kylaggregaten.

Eleffekten kan med hjälp av värmefaktorn COP_{kyla} användas för att uppskatta skolans kyleffekt. COP-värdet står för kylaggregatets köldfaktor och anger hur mycket kyleffekt som alstras i ett kylaggregat med hänsyn till hur mycket eleffekt som går åt. COP-värdet varierar med förångnings- och kondenseringstemperaturer samt belastning (Energimyndigheten, 2016). Då dessa temperaturer ej har kunnat mätas, har högsta och minsta COP-värdet använts för att visa överskottseffektens möjliga tillstånd. I dessa angivna COP-värden är förångnings- och kondenseringstemperaturer

valda efter dimensionerande fall. Maximala COP-värden fås från dimensioneringen och minimala har tagits fram av Dennis Mårdbrink, Ahlsell. På Furulidskolan finns det två kylaggregat som har olika krav att uppfylla och har därmed olika COP-värden. Både kyl- och frysaggregatens minimala och maximala COP-värden beräknas enligt bilaga 5 där hänsyn tas till användning av de olika utrymmena de försörjer. COP-värden som används för vidare redovisning av överskottseffekt är:

$$COP_{kyla,min} = 1,4$$

$$COP_{kyla,max} = 2,2$$

Genom att multiplicera dessa COP-värden med eleffekten enligt nedan fås den minsta och största möjliga kyleffekt fram vid aktuella förhållanden.

$$\dot{Q}_{kyla} = COP_{kyla} \cdot \dot{W}_{el} \quad (4.1)$$

Med hjälp av den maximala och minimala kyleffekten kan spannet där värmeöverskottseffekten hamnar på räknas fram genom sambandet:

$$\dot{Q}_{värme} = \dot{Q}_{kyla} + \dot{W}_{el} \quad (4.2)$$

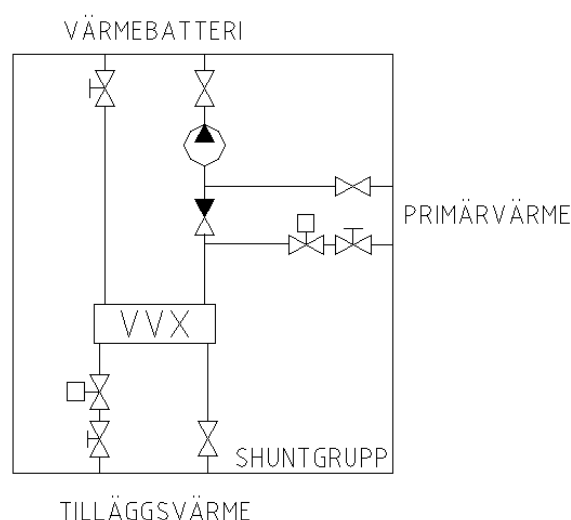
Spannet mellan den minimala och maximala värmeöverskottseffekten enligt ekvationerna ovan redovisas i diagram 4.2 med grå färg. Överskottseffekten kommer alltså att variera inom den grå arean på grund av att COP-värdet varierar mellan minimum och maximum.

5 Återvinning till olika system

I detta arbete undersöks tre möjligheter till återvinning av värme från kökskylan på Furulidskolan. De första två är värme till luftbehandlingsaggregat samt till golvvärme. Dessa två är valda på grund av att de kan drivas med låga temperaturer på 35/25°C, vilket gör att kylsystemets överskottsvärme på 38-grader kan utnyttjas. Som jämförelse kräver ett radiatorsystem temperaturer på 60/40°C och då räcker inte de 38 graderna till. Utöver dessa två undersöks dessutom möjligheten att återvinna värmen till tappvarmvatten. I detta fall används överskottsvärmen till att värma det 10-gradiga kallvatten som kommer från det kommunala vattenledningsnätet och som ska användas till tappvarmvatten. Alla system måste dock vara dimensionerade på så sätt att de klarar driften på egen hand utan överskottsvärme från kökets kylmaskiner.

5.1 Återvinning till luftbehandlingsaggregat

Överskottsvärme från kylsystemet kan kopplas till luftbehandlingsaggregatets eftervärmningsbatteri för att hjälpa till med att värma luften. Ambitionerna är att värma batteriets vätsketemperaturer så mycket som möjligt och därmed minska energianvändningen från pelletsförbränning, som är skolans primära värmekälla (Åberg, 2014). Kopplingen sker med en shuntgrupp som fungerar som en länk mellan kylsystemet, den primära värmekällan och värmebatteriet. Shuntgruppen är specialanpassad så att värmen från pellets pannorna ligger som primär värmekälla medan värmen från kylsystemet kopplas på som tilläggsvärme, se Figur 4.1 (M. Johansson, 2016). Primärvärmen säkrar att tillräckligt hög temperatur nås efter att överskottsvärmen tagits tillvara.



Figur 5.1 Shuntgrupp SRBX-62spec, ursprungligen från Prema (M. Johansson, 2016).

Normalt brukar tillopps- och returtemperaturer för ett värmebatteri ligga runt 60/40°C, men för att kunna ta tillvara på överskottsvärmen från Furulidskolans kylsystem krävs att batteriet ska kunna drivas med lägre temperaturer. Värmebatteriet dimensioneras därför till 35/25°C så att överskottsvärmen på 38 grader kan utnyttjas. Dimensioneringen medför en storleksökning av batteriet som gör att det klarar av att värma luften med de låga temperaturerna. En ökning av batteristorleken gör att den värmeöverförande ytan ökar i form av flera lameller (Warfvinge, Dahlblom, 2014). På grund av att den värmeöverförande ytan blir större kan samma värmeeffekt uppnås med lägre temperaturer.

5.1.1 Effektberäkning

Effekten som överförs via värmeväxlaren till värmebatteriet är densamma som fås från kylaggregaten

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 \quad (5.1)$$

Returtemperaturen från värmebatteriet (25°C) värms med överskottsvärmen via värmeväxlaren i shuntgruppen. För att få fram den temperaturökning som värmeväxlaren i bästa fall kan åstadkomma med hjälp av effekten från kylsystemet används ekvationen för effektberäkning.

$$\dot{Q}_1 = \dot{V}_1 \cdot \rho_v \cdot c_{p,v} \cdot \Delta t_1 \quad (5.2)$$

där $\dot{Q} = \text{Effekt}$
 $\dot{V} = \text{Flöde}$
 $\rho_v = \text{Densitet}$
 $c_{p,v} = \text{Vattnets specifika värmekapacitet}$
 $\Delta t = \text{Temperaturskillnad över värmeväxlaren}$

Den maximala effekten som kan utnyttjas är 8,4kW enligt beräkningarna i kapitel 3. Flödet på värmebatterisidan är 0,0008 m³/s (Nyberg, 2016).

$$8,4 = 0,0008 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot \Delta t_1$$

$$\Delta t_1 = 2,5^\circ\text{C}$$

Denna ökning ger en temperatur på 27,5°C och räcker ej till för att nå den dimensionerande tilloppstemperaturen 35°C. Resterande behov täcks av primärvärmen så att värmebatteriet alltid klarar att värma tilluften.

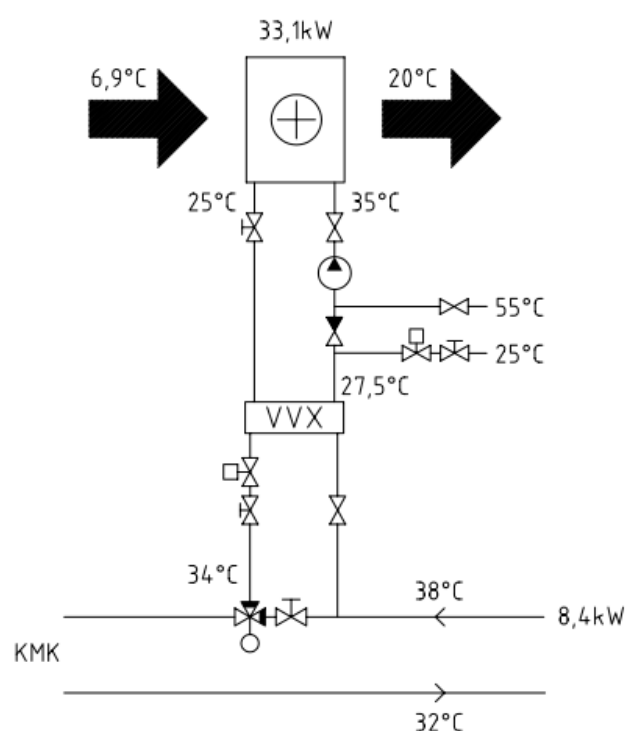
För att beräkna hur hög temperatur som går vidare från återvinningen ut till kylmedelkylaren används samma effekt som ovan. Vid optimala fallet skulle en returtemperatur ges på 32°C eftersom att då kan kylmedelkylaren stängas av. Då 38-gradig vätska tas från kylaggregaten till återvinning ger det en begränsning på 6°C som kan användas. Det beror på att kylmedelkylaren är dimensionerad för att hålla en konstant temperatur på 32°C in till kylsystemet och att dess funktion endast är att avge värme. Vätskeflödet i KMK-kretsen är dimensionerad till 0,506l/s (Mårdbrink, 2016).

$$\dot{Q}_2 = \dot{V}_2 \cdot \rho_v \cdot c_{p,v} \cdot \Delta t_2$$

$$8,4 = 0,000506 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot \Delta t_2$$

$$\Delta t_2 = 4^\circ C$$

Beräkningen ger att returvätskans temperatur till KMK-kretsen lägst hamnar på 34°C. Med den effekten och de flödena som finns tillgängliga kan returtemperaturen aldrig sänkas till den önskade temperaturen på 32°C vid återvinningen. Om returtemperaturen istället hade hamnat lägre än 32°C hade effekten inte kunnat utnyttjas helt på grund av KMK-kretsens begränsning.



Figur 5.2 Shuntgrupp SRBX-62spec, med temperaturer (M. Johansson, 2016.)

I figuren ovan visas shuntgruppen med luft- och vätsketemperaturer. Temperaturerna som anges är vid den dimensionerande vinterutomhustemperaturen -16°C och vid det

maximala effektöverskottet på 8,4kW. Temperaturerna för primärvärmen ligger på 55°C respektive 25°C (Utterhall, 2016).

I figuren redovisas även värmebatteriets effektbehov på 33,1kW, vilket gäller under dimensionerande förhållanden. Temperaturen 6,9°C kommer från värmeåtervinnaren och är hämtat från luftbehandlingsaggregatets körning i ACON. Då man vill att tilluftens temperatur ska hållas på konstant 20°C vintertid beräknas effektbehovet fram enligt nedan:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho_v \cdot c_{p,v} \cdot \Delta t$$

där $\Delta t = \text{Temperaturskillnad över värmebatteriet}$

Temperaturen efter värmeåtervinnaren, $t_{V\text{Å}V}$, fås fram med ekvationen för temperaturverkningsgrad

$$\eta = \frac{(t_{V\text{Å}V} - t_{ute})}{(t_{från} - t_{ute})} \quad (5.3)$$

Vid omskrivning ger det:

$$t_{V\text{Å}V} = \eta \cdot (t_{från} - t_{ute}) + t_{ute}$$

Verkningsgraden ligger normalt på 83,8% men försämras då frostskyddet är påslaget, vilket sker vid temperaturer lägre än -4°C. Verkningsgraden 60,3% som gäller för -16°C är den lägsta och därefter ökar den linjärt upp till 83,8%.

$$t_{V\text{Å}V} = 0,603 \cdot (22 - (-16)) + (-16) = 6,9^\circ\text{C}$$

Då temperaturen efter värmeåtervinnaren är känd kan effektbehovet beräknas till

$$\dot{Q} = 2,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot (20 - 6,9) = 33,1\text{kW}$$

För att få fram hur effektbehovet varierar med utomhustemperaturen görs samma beräkning för varje grad utomhus.

5.1.2 Energiberäkning

För att få fram hur mycket energi som kan sparas under ett skolår undersöks hur många timmar värmebatteriet är igång samt hur mycket energi som kan tillvaratas under den perioden. Energiberäkningarna utförs med hjälp av en förenklad figur över tillgänglig överskottsvärme från diagram 4.2. I förenklingen har medelvärdet

beräknats för timmarna då aktiviteter på skolan pågår eftersom att det är då eftervärmningsbatteriet är igång.

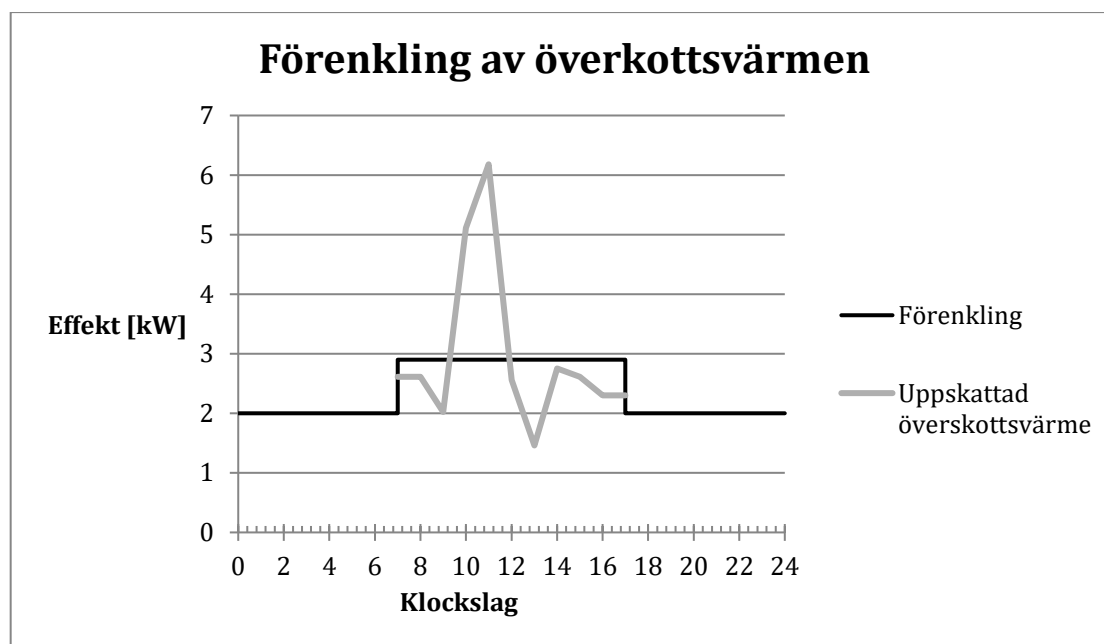


Diagram 5.1 I denna förenkling har medelvärdet på överskottsvärmen beräknats från 07:00 till 17:00.

Snitteffekten under skoltimmarna hamnar på 2,9kW. Detta värde används för att uppskatta hur mycket energi som kan återvinnas under ett år.

I tabellen nedan visas data över luftvärmaren tagen från dimensioneringsprogrammet ACON. Under effekt visas effektbehovet för att värma luften till önskad tilluftstemperatur vid den specifika utomhustemperaturen. Under drifttimmar visas antal timmar per specifik utomhustemperatur då luftvärmaren är igång. De är beräknade för vardagar mellan 07:00-17:00, det vill säga de timmar som skolverksamhet bedrivs. 10 juni – 22 augusti är borttagna från beräkningarna på grund av att det är sommarlov för grundskolan. (Kungsbacka kommun, 2015). Med hjälp av effektbehovet och antal drifttimmar per grad kan återvunnen energi tas fram, vilket visas under den sista spalten i diagrammet. Då effektbehovet ligger över 2,9 kW, enligt förenklingen i Diagram 5.1, kan överskottseffekten utnyttjas fullt ut. Den återvunna energin fås fram genom att den utnyttjade effekten multipliceras med antal drifttimmar som luftvärmaren är igång.

Tabell 5.1 Tabell för luftvärmare, ACON-01815120 (Nyberg, 2016)

Utetemperatur [°C]	Effekt [kW]	Drifttimmar [h]	Återvunnen energi [kWh]
-16	33,1	0	0
-15	30,1	0	0
-14	26,8	3	$2,9 \times 3 = 8,7$
-13	24,2	2	$2,9 \times 2 = 5,8$
-12	21,9	2	$2,9 \times 2 = 5,8$
-11	19,9	4	$2,9 \times 4 = 11,6$
-10	12,1	12	$2,9 \times 12 = 34,8$
-9	11,9	12	$2,9 \times 12 = 34,8$
-8	11,7	18	$2,9 \times 18 = 52,2$
-7	11,4	26	$2,9 \times 26 = 75,4$
-6	11,2	40	$2,9 \times 40 = 116$
-5	11	31	$2,9 \times 31 = 89,9$
-4	10,7	36	$2,9 \times 36 = 104,4$
-3	3,05	40	$2,9 \times 40 = 116$
-2	2,85	39	$2,85 \times 39 = 111,2$
-1	2,62	68	$2,65 \times 68 = 178,2$
0	2,27	84	$2,27 \times 84 = 190,7$
1	1,76	58	$1,76 \times 58 = 102,1$
2	1,51	60	$1,51 \times 60 = 90,6$
3	1,26	81	$1,26 \times 81 = 102,1$
4	0,76	90	$0,76 \times 90 = 68,4$
5	0,39	113	$0,39 \times 113 = 44,1$
		819	1542,8

Utomhustemperaturen för de timmar som skolan hålls i drift är hämtad från SMHIs hemsida. Utifrån dessa data beräknas mängd återvunnen energi utefter möjlig användning av överskottsvärme. Fram till och med -2°C multipliceras överskottseffekten 2,9kW med antal timmar som batteriet används, därefter multipliceras timmarna med batteriets effektbehov. Diagrammet avslutas vid 5°C på grund av att därefter stängs luftvärmaren av, det vill säga ingen återvinning kan då längre ske.

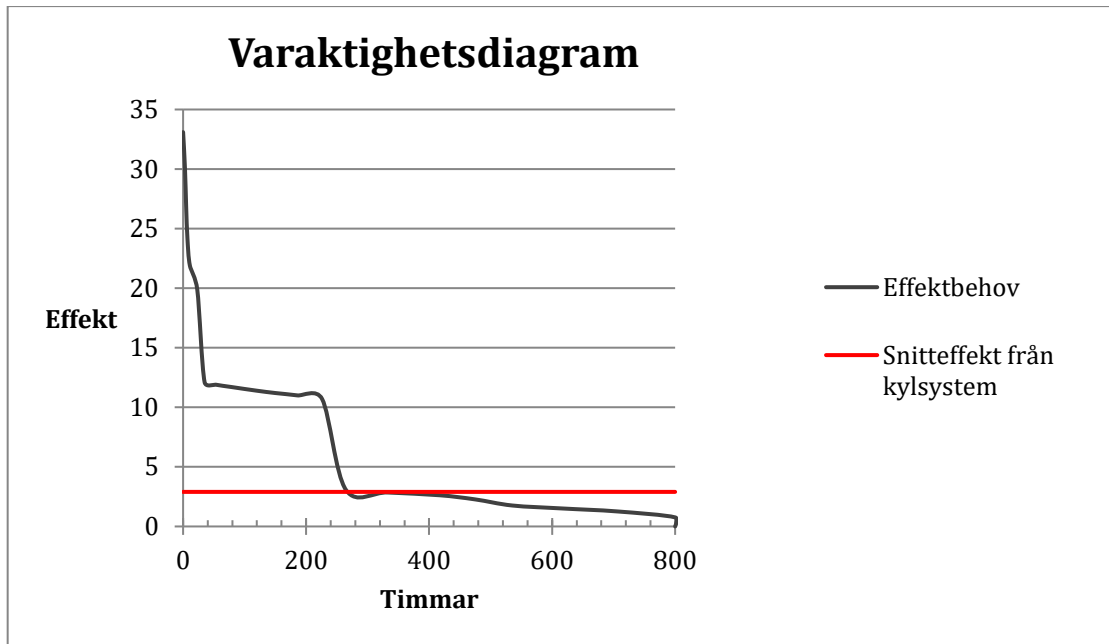


Diagram 5.2 Varaktighetsdiagram som visar hur stor del av effektbehovet som täcks med snittöverskottseffekten från kylsystemet.

5.1.3 Kostnadsberäkning

För att beräkna den totala kostnaden behöver samtliga insparade kostnader och utgifter redovisas.

Pumpen i shuntgruppen drar cirka 50W/h (Prema, 2016), vilket ger att energiförbrukningen för de timmar överskottsvärmen kan utnyttjas blir:

$$50W \cdot 819h/\text{år} = 41kWh/\text{år}$$

Elpris för Kungsbacka kommun ligger runt 0,67kr/kWh vilket ger driftkostnaden för pumpen:

$$41kWh \cdot 0,67 = 27,5kr/\text{år}$$

Priset för pelletsförbränning låg under år 2015 i snitt på 0,54kr/kWh (Energi- och klimatrådgivningen, 2016). Med hjälp av det fås fram hur mycket pengar som kan sparas med återvinning av överskottsenergi enligt nedan.

$$0,54kr/kWh \cdot 1\,542,8kWh/\text{år} = 833,1kr/\text{år}.$$

Med det priset blir den totala kostnadsbesparingen i drift

$$833,1kr/\text{år} - 27,5kr/\text{år} = 805,6kr/\text{år}$$

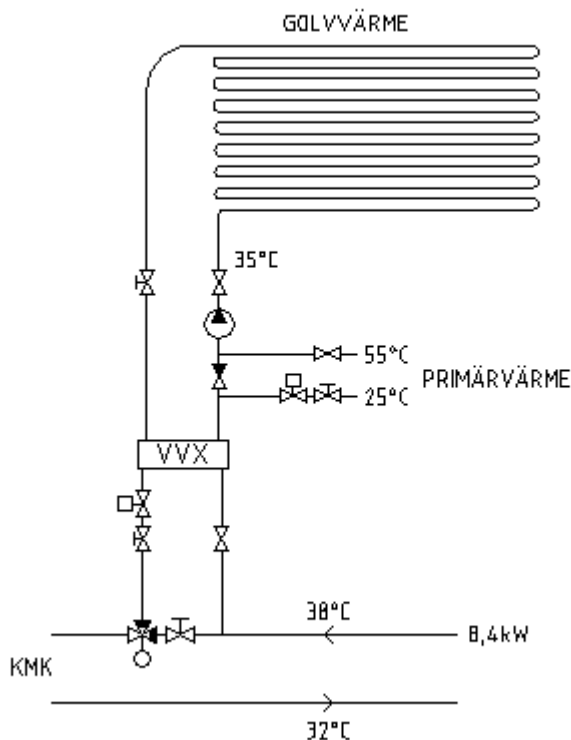
Inköpskostnaden för shuntgrupp SRBX-62spec är cirka 35 000kr (Prema, 2016) och därpå tillkommer installationskostnader som ligger runt 15 000kr (Utterhall, 2016). Kostnad för ökad batteristorlek är 5000kr (Nyberg, 2016).

Antal år innan återvinningen blir lönsam fås enligt ekvationen:

$$\frac{35\,000 + 15\,000 + 5\,000}{805,6} \approx 68 \text{ år}$$

5.2 Återvinning till golvvärme

På Furulidskolan skall groventréer och vindfång förses med vattenburen golvvärme (Callheim, 2015). Golvvärmeslingor gjuts in i byggnadens betonggolv och golvytan värms underifrån med hjälp av cirkulerande varmvatten. (Warfvinge, Dahlblom, 2014). Överskottsvärmen från kylsystemet återvinns till att värma returtemperaturen från golvvärmerna. Detta görs med hjälp av en shuntgrupp av samma typ som för eftervärmningsbatteriet, se figuren nedan.



Figur 5.3 Shuntgrupp SRBX-62spec, med temperaturer (M. Johansson, 2016).

Då ytemperaturen på golvet ska ligga på 20°C (Callheim, 2015) och överskottsvärmen ska återvinnas på bästa möjliga sätt, dimensioneras golvvärmesystemet för en framledningstemperatur på 35°C och en returtemperatur på 25°C (LK Systems 2016). Målsättningen är att värma det 25-gradiga returvattnet så mycket som möjligt så att användning av pelletsförbränning på skolan minskar.

5.2.1 Effektberäkningar

För att kunna ta reda på hur mycket värmeeffekt som kan återvinnas till golvvärme från skolans kylsystem måste först värmeeffektbehovet undersökas. Värmeeffektbehovet till golvvärmen i vindfång och groventréer är uppskattat till 15W/m² då det avser att hålla golvet torrt från blöta skor (Callheim, 2016). Golvarean i vindfång är 11m² och i groventréer 97m². Totala värmeeffektbehovet för golvvärme blir därmed:

$$(11 + 97) \cdot 15 = 1,62kW$$

Effektbehovet visar att med den maximala effekten på 8,4 kW som kan hämtas från kökskylan så går det att utnyttja energin ännu mer. För att kunna använda all överskottseffekt som finns tillgänglig väljs golvvärme till hela plan 1 på Furulidskolan, bortsett ifrån idrottshall och kök. Där passar det inte med golvvärme, då interna värmelaster snabbt blir höga. Golvvärmen ersätter radiatorerna och behöver därmed ta hand om hela värmeeffektbehovet på plan 1.

Vid beräkning av dimensionerande värmeeffektbehov räknas fram ett värsta fall som värmesystemet måste klara av. Under ett år uppnås de förhållandena sällan och därför bör hänsyn tas till solinstrålning och interna värmelaster för att uppskatta hur värmeeffektbehovet ser ut. Värmelasterna ska motsvara typiska förhållanden under vardagar på Furulidskolan.

Värmeeffektbehovet vid DVUT beräknas enligt ekvationen nedan (Warfvinge, Dahlblom, 2014).

$$\dot{Q}_t + \dot{Q}_v + \dot{Q}_{ov} = \dot{Q}_w + \dot{Q}_s + \dot{Q}_i \quad (5.4)$$

\dot{Q}_w betecknar värmesystemets effektbehov och fås fram genom att omformulera Ekvation (5.4) till:

$$\dot{Q}_w = \dot{Q}_t + \dot{Q}_v + \dot{Q}_{ov} - \dot{Q}_s - \dot{Q}_i$$

där $\dot{Q}_t =$ *Trasmissionsförlust*
 $\dot{Q}_v =$ *Oavsiktlig ventilation*
 $\dot{Q}_{ov} =$ *Luftläckage*
 $\dot{Q}_s =$ *Solinstrålning*

$$\dot{Q}_i = \text{Internt genererad värme}$$

Med hjälp av dessa effekter räknas värmeeffektbehovet fram enligt nedan:

Transmissionsförlust, \dot{Q}_t :

$$\dot{Q}_t = (\sum U \cdot A + \sum \Psi_k \cdot l_k + \sum X_j) \cdot (t_{inne} - t_{ute}) \quad (5.5)$$

där U = värmegenomgångskoefficient

A = area

Ψ_k = värmegenomgångstal för linjär köldbrygga

l_k = linjära köldbryggans längd

X_j = värmegenomgångstal för punktformig köldbrygga

Köldbryggorna uppskattas till 20 % av totala UA-värdet (Larsson, 2015)

För att beräkna transmissionsförlusterna används U-värden från energianalysen (Larsson, 2016) samt areor från planritningar (Bilaga 3). U-värde är värmegenomgångskoefficient och beskriver materialets isoleringsförmåga.

U-värden för Furulidskolan (Larsson, 2016):

Platta på mark	0,1W/m ²
Yttervägg	0,13W/m ²
Yttertak	0,09W/m ²
Fönster	1,0W/m ²
Dörr	1,5W/m ²

UA värdet fås igenom att multiplicera arean på rummet med U-värdet

$$\sum U \cdot A = U_{golv} \cdot A_{golv} + U_{vägg} \cdot A_{vägg} + U_{tak} \cdot A_{tak} + U_{fönster} \cdot A_{fönster} + U_{dörr} \cdot A_{dörr}$$

För plan 1 blir UA-värdet 595,4 W/°C

Därmed fås

$$\dot{Q}_{t,plan1} = (595,4 + (595,4 \cdot 0,2)) \cdot (22 - (-16)) = 27,2kW$$

Ventilationsförlust, \dot{Q}_v :

$$\dot{Q}_v = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_v \cdot (t_{inne} - t_{till}) \quad (5.6)$$

där $\dot{V}_v =$ styrt ventilationsflöde, $4,39\text{m}^3/\text{s}$ (Ånger, 2016)

$$\dot{Q}_{v,plan1} = 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,00439 \cdot (22 - 20) = 10,5\text{kW}$$

Luftläckage, \dot{Q}_{ov} :

$$\dot{Q}_{ov} = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_{ov} \cdot (t_{inne} - t_{ute}) \quad (5.7)$$

där $\dot{V}_{ov} =$ oavsiktligt ventilationsluftflöde

Luftläckaget för byggnaden är $0,2$ oms/h (Larsson, 2016). Vid omskrivning blir det:

$$\dot{V}_{ov} = 0,2 \left[\frac{\text{oms}}{\text{h}} \right] = \frac{0,2 \cdot V}{3600} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (5.8)$$

där $V =$ rummets volym, $2\,136,9\text{m}^3$ enligt Bilaga 3

Detta ger ett luftläckage för plan 1 på $0,32\text{ m}^3/\text{s}$ och därmed fås:

$$\dot{Q}_{ov,plan1} = 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,00032 \cdot (22 - (-16)) = 14,6\text{kW}$$

Solinstrålning, \dot{Q}_s :

$$\dot{Q}_s = \text{värmertilskott} \cdot A_{fönster} \cdot \text{reduktionsfaktor} \cdot \text{molnfaktor} \quad (5.8)$$

Värmertilskott söder: $300\text{W}/\text{m}^2$ (Warfvinge, Dahlblom, 2014)

Eftersom bara skoltider från 07:00 till 17:00 studeras, antas solen skina från söder under största delen av dagen (Kungsbacka kommun, 2014).

Reduktionsfaktor för solinstrålning, kallat g-värde är $0,33$ för 3-glasfönster (Elitfönster, 2015).

Molnfaktor: $0,49$ (Pettersson, 2008)

$$\dot{Q}_{s,plan1} = 300 \cdot 78,3 \cdot 0,33 \cdot 0,49 = 3,8\text{kW}$$

Internvärme, \dot{Q}_i :

$$\dot{Q}_i = \text{Personbelastning} + \text{värmeförlust} \cdot A_{\text{golv}} \quad (5.9)$$

Då skolan är anpassad för cirka 200 personer (Stratsys, 2016) uppskattas att 100 personer vistas samtidigt på plan 1. Personerna antas alstra 40W värme på grund av att de sitter stilla största delen av dagen (Abel, Elmroth, 2008).

I skolan används det LED lampor och därmed blir interna lasterna från belysningen 6W/m^2 (Abel, Elmroth, 2008). På grund av att alla lampor inte är tända samtidigt reduceras totala golvarean med en fjärdedel.

Värmeförlust för datorer och annan elektronisk utrustning beräknas med $6\text{W/m}^2 A_{\text{temp}}$ (Abel, Elmroth, 2008). A_{temp} beskriver arean för utrymmen där utrustning finns och mäts från A-ritningar till $330,6\text{m}^2$. Med dessa uppgifter beräknas den totala internvärmens enligt ekvationen nedan

$$\dot{Q}_{i,plan1} = 100 \cdot 40 + 2136,9 \cdot 0,75 \cdot 6 + 330,6 \cdot 6 = 15,6\text{kW}$$

Värmsystemets effektbehov, \dot{Q}_w :

Sammanlagt blir det totala värmeeffektbehovet vid DVUT på plan 1 enligt ekvation (5.4):

$$\dot{Q}_{w,plan1} = 27,2 + 0,4 + 14,6 - 3,8 - 15,6 = 22,7\text{kW}$$

Eftersom att $19,5\text{kW}$ är större än $8,4\text{kW}$ kan överskottsvärmen tas tillvara maximalt vid utetemperaturen -16°C .

Från LK systems dimensionering av golvvärmsystemet ges att totala flödet i golvvärmekretsen är 6060l/h , vilket ger $1,68\text{l/s}$.

Effektberäkningen ger att

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho_v \cdot c_{p,v} \cdot \Delta t$$

$$8,4 = 0,00168 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = 1,2^\circ\text{C}$$

Detta är den högsta temperaturskillnaden som ges under hög användning av köket. Genomsnittlig temperaturskillnad fås då $2,37\text{kW}$ ersätter $8,4\text{kW}$ i beräkningen ovan. Δt blir då $0,34^\circ\text{C}$.

5.2.2 Energiberäkning

För att få fram hur mycket energi som kan tillvaratas från kylsystemet till golvvärme utförs en förenklad modell på överskottsvärmen, se diagram nedan. Eftersom att golvvärmesystem är väldigt trög reglerat på grund av att betonggolvet lagrar värme är det inte lönsamt med nattsänkning (LK Systems, 2016). Golvvärme är alltså på dygnet runt på vardagar och därför redovisas överskottseffektens medelvärde under hela dygnet.

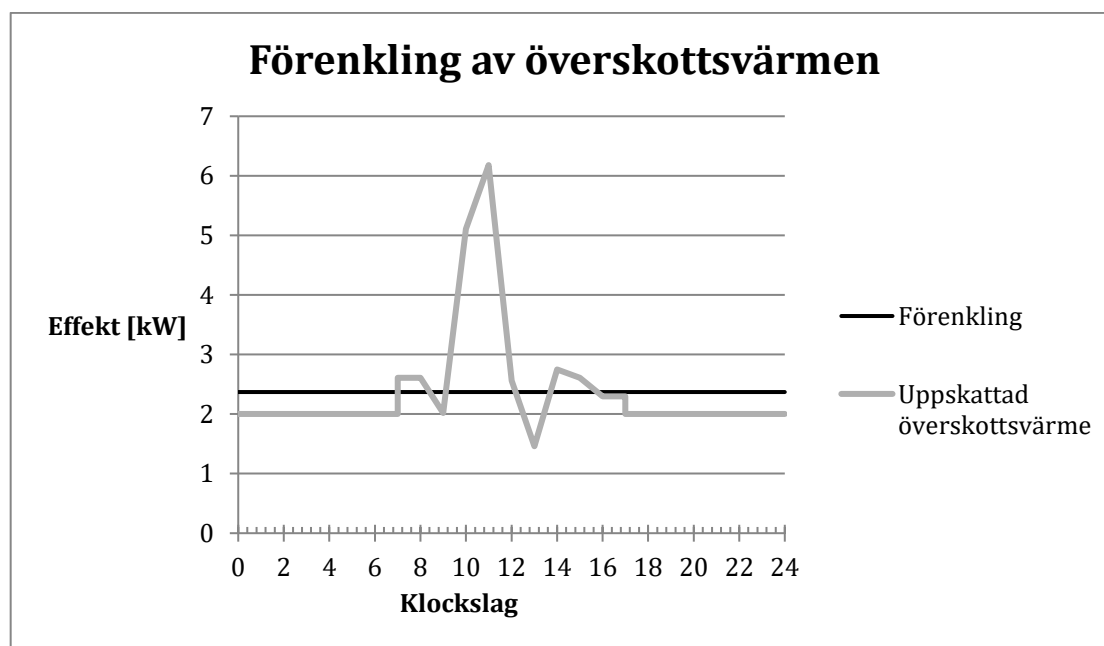


Diagram 5.3 I denna förenkling har medelvärdet på överskottsvärmen beräknat under ett dygn.

I förenklingen visas att det i snitt finns tillgång till 2,37kW överskottseffekt under hela dygnet. Den siffran används i Tabell 5.2 för att få fram den totala mängden återvinningsbar energi under ett skolår. I tabellen visas även hur värmeeffektbehovet i byggnaden varierar med utomhustemperaturen. Effektbehovet vid varje utomhustemperatur tas fram genom ekvation (5.3). Drifttimmarna som redovisas i tabellen tar hänsyn till att golvvärmen stängs av under helger och under sommarlovet. Återvinningsbar energi tas fram med hjälp av överskottseffekt, drifttimmar och effektbehov vid respektive grad.

Tabell 5.2 Tabell för återvinningsbar energi till golvvärme

Utetemperatur [°C]	Effektbehov [kW]	Drifttimmar [h]	Återvinningsbar energi [kWh]
-16	32,88	0	0
-15	31,78	0	0
-14	30,68	9	$2,37 \times 9 = 21,33$
-13	29,58	5	$2,37 \times 5 = 11,85$
-12	28,49	13	$2,37 \times 13 = 30,81$
-11	27,39	27	$2,37 \times 27 = 63,99$
-10	26,29	29	$2,37 \times 29 = 68,73$
-9	25,19	25	$2,37 \times 25 = 59,25$
-8	24,09	50	$2,37 \times 50 = 118,5$
-7	22,99	60	$2,37 \times 50 = 142,2$
-6	21,9	96	$2,37 \times 96 = 227,52$
-5	20,8	69	$2,37 \times 69 = 163,53$
-4	19,7	93	$2,37 \times 93 = 220,41$
-3	18,6	94	$2,37 \times 94 = 222,78$
-2	17,5	85	$2,37 \times 85 = 201,45$
-1	16,4	149	$2,37 \times 149 = 353,13$
0	15,3	197	$2,37 \times 197 = 466,89$
1	14,21	152	$2,37 \times 152 = 360,24$
2	13,11	171	$2,37 \times 171 = 405,27$
3	12,01	228	$2,37 \times 228 = 540,36$
4	10,91	229	$2,37 \times 229 = 542,73$
5	9,81	302	$2,37 \times 302 = 715,74$
6	8,71	304	$2,37 \times 304 = 720,48$
7	7,62	345	$2,37 \times 345 = 817,65$
8	6,52	335	$2,37 \times 335 = 793,95$
9	5,42	288	$2,37 \times 288 = 682,56$
10	4,32	265	$2,37 \times 265 = 628,05$
11	3,22	209	$2,37 \times 209 = 495,33$
12	2,12	220	$2,12 \times 220 = 466,4$
13	1,02	243	$1,02 \times 243 = 247,86$
		4292	9954,89

I det ideala fallet då golvvärmen kan ta hand om all värmeeffektbehov i byggnaden så hamnar återvinningsbar energi på ett år till 9 954,89kWh. Tabellen slutar då utetemperaturen når upp till 13 grader för att när det är varmare ute behövs det inte längre golvvärme för att klara värmeeffektbehovet. Detta beror på skolans tjocka klimatskal och interna värmelaster som värmer upp byggnaden.

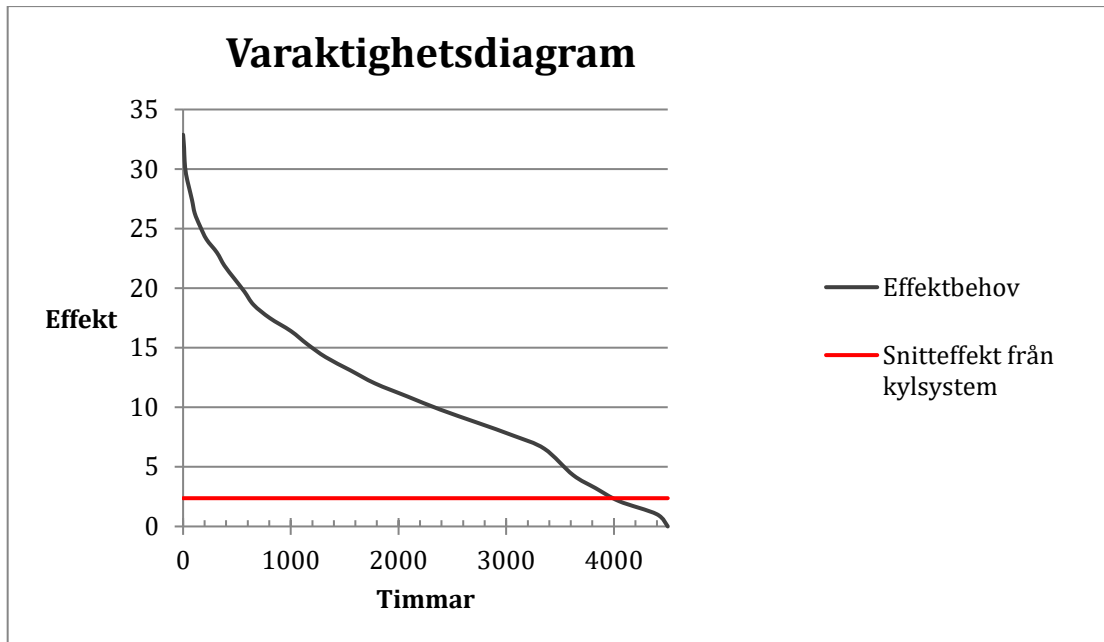


Diagram 5.4 Varaktighetsdiagram som visar hur stor del av effektbehovet som täcks med snittöverskottseffekten från kylsystemet.

5.2.3 Kostnadsberäkning

Eleffekten för pumpen i shuntgruppen är 50 W/h (Prema, 2016), vilket ger att energiförbrukningen för de timmar överskottsvärmen kan utnyttjas blir:

$$50W \cdot 4292h/\text{år} = 214,6kWh/\text{år}$$

Elpris för Kungsbacka kommun ligger runt 0,67kr/kWh vilket ger driftkostnaden för pumpen:

$$214,6kWh \cdot 0,67 = 143,8kr/\text{år}$$

Från energiberäkningarna i förra kapitlet fås den återvinningsbara energin till 9 954,89kWh per år för golvvärme. Priset för pelletsförbränning ligger på 0,54 kr/kWh som tidigare nämnts och därmed fås en kostnadsbesparing på:

$$9\,954,89kWh \cdot 0,54 \frac{kr}{kWh} = 5\,375,6kr/\text{år}$$

$$5\,375,6kr/\text{år} - 143,8kr/\text{år} = 5\,231,8kr/\text{år}$$

Shuntgruppen för golvvärmesystemet är av samma modell som för luftbehandlingsaggregatet, se Figur 4.1, men är dimensionerad efter de nya uppgifterna. Denna shuntgrupp har en inköpskostnad på 50 000kr (Prema, 2016).

Ett golvvärmesystem för hela plan 1 i Furulidskolan skulle kosta omkring 580 000kr (J. Johansson, 2016). Installationskostnader för radiatorsystem ligger ungefär 50 procent lägre än för ett golvvärmesystem (Purmo, 2016). Eftersom att radiatorsystem byts ut mot ett golvvärmesystem på Furulidskolan för att denna återvinning ska vara möjlig bör kostnaden för detta räknas in. Det blir en tilläggskostnad på cirka 290 000kr.

Antal år innan återvinningen blir lönsam:

$$\frac{50\,000 + 15\,000 + 290\,000}{5231,8} \approx 68 \text{ år}$$

Om skolan istället hade planerat att ha golvvärme över hela planet från början hade kostnaden för golvvärmetillägg inte behövt räknas med och då hade lönsamheten blivit:

$$\frac{50\,000 + 15\,000}{5231,8} \approx 12 \text{ år}$$

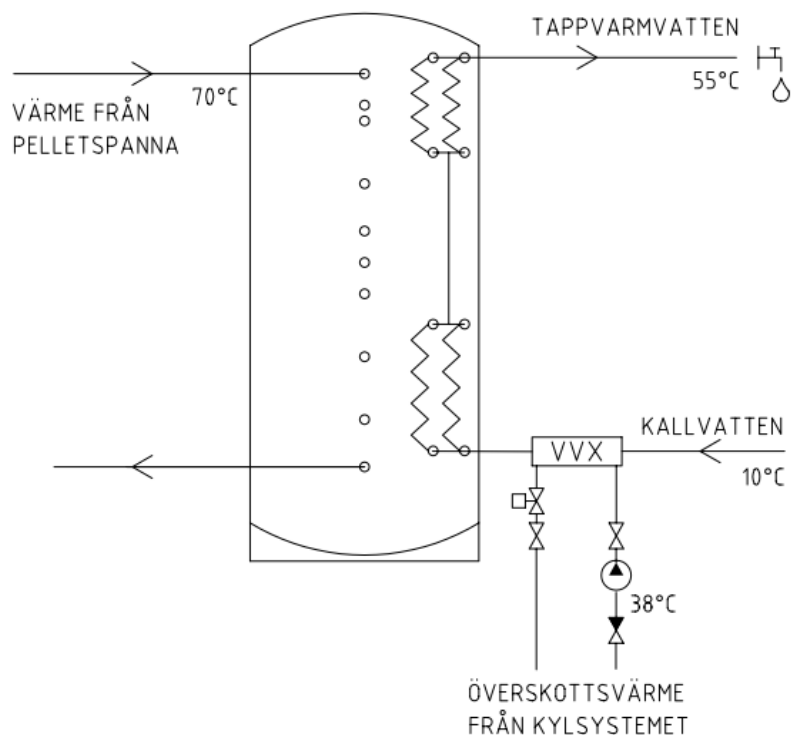
5.3 Återvinning till tappvarmvatten

På Furulidskolan används ackumulatortankar för att förvärma tappvarmvattnet. En ackumulatortank kan i stort sett användas till att lagra värme från vilken värmekälla som helst (Energimyndigheten, 2016). Dock krävs att temperaturen på vattnet från värmekällan är tillräckligt hög, cirka 70 °C, för att den ska kunna värma upp 10-gradigt kallvatten till 55°C (BAXI, 2016). På Furulidskolan används pelletsförbränning som huvudsaklig värmekälla till ackumulatortanken och i detta kapitel undersöks hur energin från överskottsvärmen kan föras över till tanken som en komplettering till pelletsförbränning.

Då tappställen används fylls samtidigt nytt kallvatten på till ackumulatortankarna. En temperaturgivare känner av när vattentemperaturen blir för låg i ackumulatortanken och reglerar när pelletsspannan ska sättas på (Thorin, 2016). Det är viktigt att temperaturen på varmvattnet aldrig understiger 50°C i tappvattensystemet på grund av att risken för legionella ökar vid lägre temperaturer (Warfvinge, Dahlblom, 2013). Det är också viktigt med god skiktning i ackumulatortanken så att legionella inte uppstår vid värmning av vattnet (Energimyndigheten, 2016). Välisolerade tankar gör att värmen kan hållas kvar länge eftersom att värmeförlusterna hålls nere (Energimyndigheten, 2016).

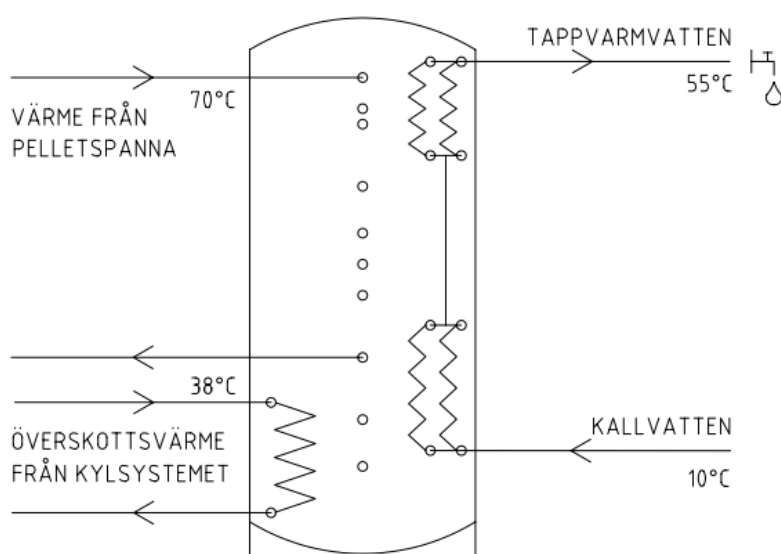
Som ett alternativ för att kunna ta tillvara på lägre temperaturer, som i detta fall överskottsvärme från kylsystemet, kan en värmeväxlare kopplas till ackumulatortankens kallvattenförsörjning, se Figur 5.4. Då förvärms det kalla vattnet

innan det hamnar i tanken (BAXI, 2016). Ett annat alternativ är att koppla värmekällan direkt till ackumulatortanken på ungefär samma vis som en solvärmeslinga och förvärma det kalla vattnet i botten av tanken, se Figur 5.5.



Figur 5.4 Värmeväxlare placeras innan ackumulatortank.

I detta fall kan överskottsvärmen utnyttjas samtidigt det tappas ur tappställen och kallvatten fylls på till ackumulatortanken. Då inget vatten tappas på hela skolan behöver inte ackumulatortanken matas med mer kallvatten och då kan inte heller överskottsvärmen tas tillvara. Effektberäkningar i kapitel 5.3.1. görs för detta alternativ.

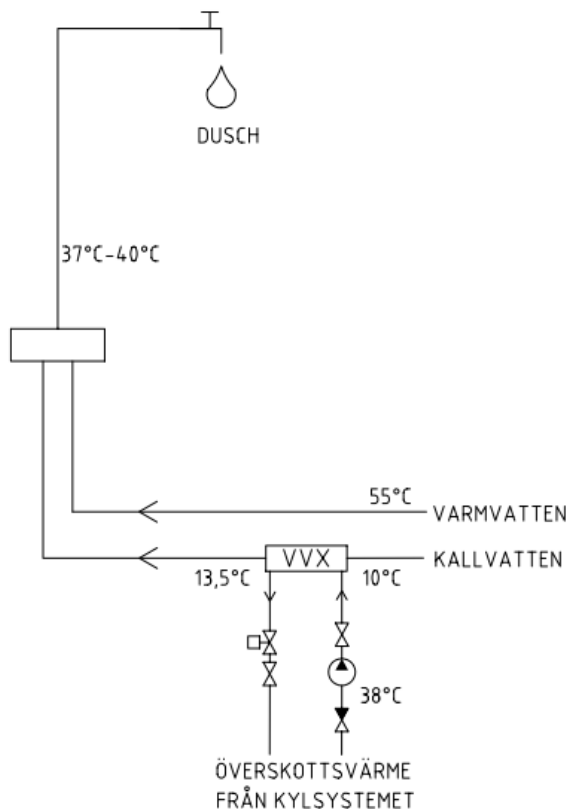


Figur 5.5 Påkoppling direkt till ackumulatortank.

I detta alternativ är det viktigt att ha en fungerande skiktning i tanken så att överskottsvärmen från kylsystemet kan tas tillvara så mycket som möjligt. För att få en god skiktning ska det kalla vattnet först värmas i den nedre delen av tanken och sedan eftervärmas med hjälp av värmeenergi från pellets pannorna. Ju större temperaturskillnad det är mellan det kalla och det varma vattnet desto bättre skiktning åstadkoms (Hyssna solvärme, 2016).

Skillnaden med att koppla överskottsvärmen direkt till ackumulatortanken jämfört med att ha en värmväxlare innan tanken är att överskottseffekten kan lagras även då ingen tappning sker, om ackumulatortanken inte är fulladdad.

Ett tredje alternativ är att använda överskottsvärmen till att förvärma det kalla vattnet till duschar samt kökets diskavdelning. Detta görs med hjälp av en värmväxlare som kopplas till tappställets kallvattentillförsel. Varmvattenförbrukningen för de tappställena kan minskas på grund av att kallvattnet inte behöver värmas lika mycket (Ekologiska byggvaruhuset, 2016). Som maximalt kan det 10-gradiga kallvattnet värmas till 20°C med en överskottseffekt på 8,4kW. Dock händer detta väldigt sällan eftersom att överskottseffekten enbart närmar sig det värdet under lunchtid då duscharna oftast inte används. Enligt ekvation (5.2) kan det 10-gradiga vattnet höjas till 13,5°C med snitteffekten på 2,9kW. Eftersom att duschar och kökets diskavdelning används under en kort tid av dygnet och överskottsvärmen endast kan utnyttjas då det tappas vatten där är de andra lösningarna mer intressanta att undersöka.



Figur 5.6 Förvärmning av kallvatten till duschar och diskavdelning.

5.3.1 Effektberäkning

Effektbehovet för att värma kallvatten från 10°C till 55°C är alltid större än överskottseffekten från skolans kylsystem. Detta kan beräknas med hjälp av ekvation (5.2). I beräkningen används ett flöde för tappning ur ett handfat som ligger på 0,2l/s. Det kan antas vara det minimala flödet som uppstår i skolan då tappning sker.

$$\dot{Q} = 0,0002 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot (55 - 10) = 37,6kW$$

Det behövs alltså 37,6kW som minst för att värma vattnet och därmed kan överskottsvärmen alltid tas tillvara för fullt.

Samtidigt som det tappas ur tappställen fylls kallvatten på till ackumulatorn och därmed kan överskottsvärmen utnyttjas. Tappning sker kontinuerligt under skoldagen i form av handtvättning, duschanvändning och spolning i kök och antagandet görs att effekten kan tillvaratas nära fullt ut mellan 07:00-17:00. Hänsyn bör dock tas till att tappningen sker i omgångar samt att det vid vissa tillfällen under dagen inte sker någon tappning alls. Vid lunchtid tappas det extra mycket vatten då det sker förberedelser inför matservering samt spolning av disk. På grund av att tappningen sker i omgångar och ibland inte sker alls uppskattas överskottseffekten kunna tas tillvara 80 % under skoldagen (Utterhall, 2016). Under helger och nätter sker ingen

tappning och då blir ackumulatortanken snabbt fulladdad. När tanken är fulladdad och vattnet står stilla kan inte överskottsvärmen tas återvinnas.

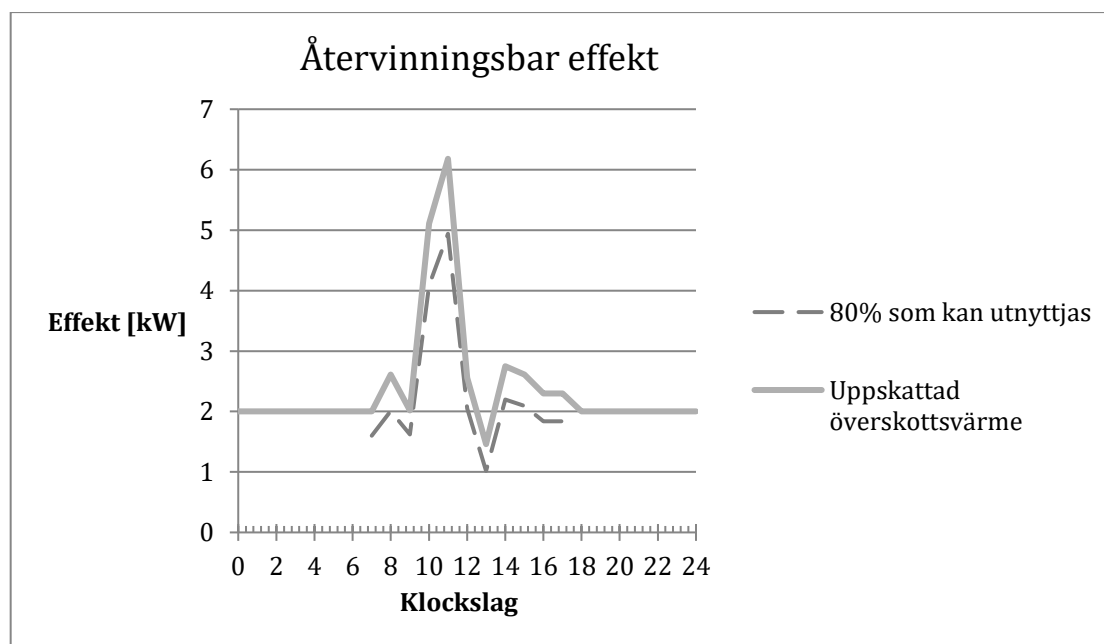


Diagram 5.5 I diagrammet syns hur mycket överskottseffekt som kan tillvaratas med en värmeväxlare före ackumulatortanken.

Från kapitel 5.1.2 fås att snitteffekten för överskottsvärmen är 2,9kW och därmed blir snitteffekten som kan återvinnas till tappvarmvatten:

$$2,9kW \cdot 0,8 = 2,32kW$$

5.3.2 Energiberäkning

Då tappvarmvattenförbrukningen inte påverkas av temperaturen utomhus beräknas inte antalet drifttimmar för olika utomhusgrader. Istället räknas antalet timmar som skolan är i drift och tappning kan förekomma. Under ett dygn kan överskottsvärmen utnyttjas i 10 timmar på grund av att verksamhet bedrivs i skolan mellan 07:00-17:00. På ett år blir drifttimmarna för värmeväxlaren till ackumulatortanken, utan helger och sommarlov, $207 \text{ dagar} \times 10 \text{ h} = 2070 \text{ h}$. Energin som kan tillvaratas under ett år räknas fram enligt följande beräkning.

$$2070 \cdot 2,32 = 4802,4kWh$$

Beräkningen ovan visar endast energi som kan tas tillvara med hjälp av en värmeväxlare som förvärmer kallvattnet externt. Resultatet hade blivit något högre om alternativet att koppla överskottsvärmen internt i ackumulatortanken hade använts. Då hade överskottsvärmen kunnat utnyttjas även när det inte sker någon tappning. Eftersom att temperaturerna från återvinningen är så låga rekommenderar ackumulatortillverkaren BAXI att använda en förvärmare av kallvattnet och därför har det alternativet undersökts.

5.3.3 Kostnadsberäkning

Då ackumulatortankarna på Furulidskolan är placerade i ett separat hus 50 meter ifrån byggnaden (Norconslut, 2015) så behövs långa rördragningar göras. De extra kostnaderna för ett återvinningssystem blir därmed inköps- och installationskostnader för värmeväxlare samt de extra rördragningarna till panncentralen. På grund av de långa rördragningar som krävs för Furulidskolan resulterar det i ett dyrt system med onödiga värmeförluster.

Eleffekten för pumpen i shuntgruppen är 50 W/h (Prema, 2016), vilket ger att energiförbrukningen för de timmar överskottsvärmen kan utnyttjas blir:

$$50W \cdot 2\,070h/\text{år} = 103,5kWh/\text{år}$$

Elpris för Kungsbacka kommun ligger runt 0,67kr/kWh vilket ger driftkostnaden för pumpen:

$$103,5kWh \cdot 0,67 = 69,3kr/\text{år}$$

Priset för pellets ligger på 0,54kr/kWh och med hjälp av det kan den årliga besparingen räknas fram.

$$4\,802,4 \cdot 0,54 = 2\,593,4kr$$

$$2\,593,4kr/\text{år} - 69,3kr/\text{år} = 2\,524,1kr/\text{år}$$

Priset för värmeväxlaren ligger runt 35 000kr (Prema, 2016). Installationskostnader är uppskattade till 15 000kr. Kostnader för rördragningar på 100 meter ligger på ungefär 450kr per meter och hamnar då totalt på 45 000kr (Rinkaby rör, 2016).

$$\frac{35\,000 + 15\,000 + 45\,000}{2\,524,1} \approx 38 \text{ år}$$

6 Analys

I detta kapitel kommer de tre olika alternativen för återvinning att jämföras energi- och kostnadsmässigt. Systemen jämförs och analyseras för att se vilket alternativ som bäst överensstämmer med den tillgängliga överskottsvärmen samt för att komma fram till vilket alternativ som är mest lönsamt.

6.1 Jämförelse av värmebehov

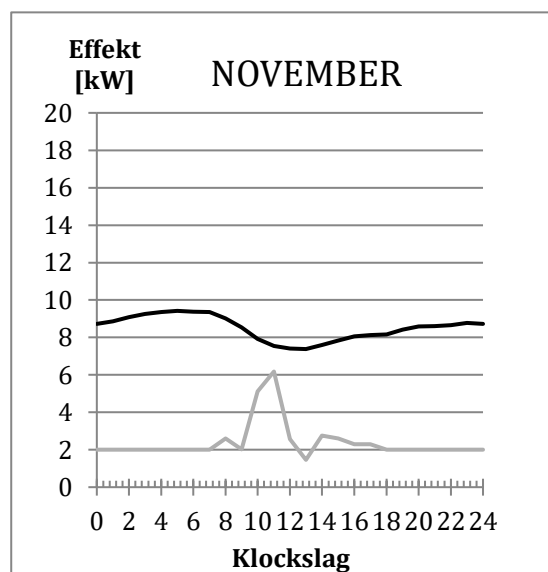
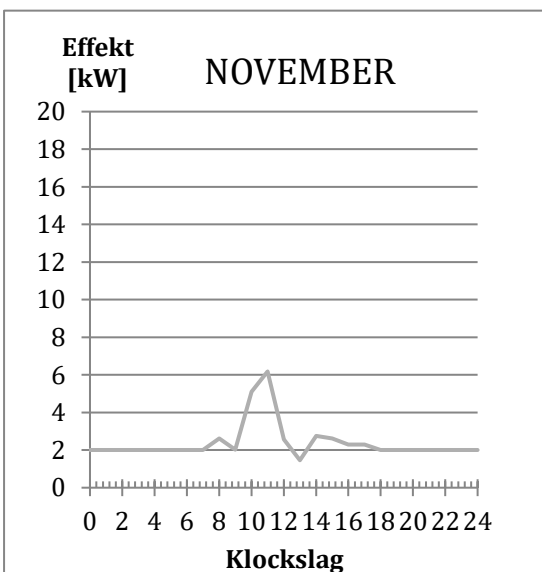
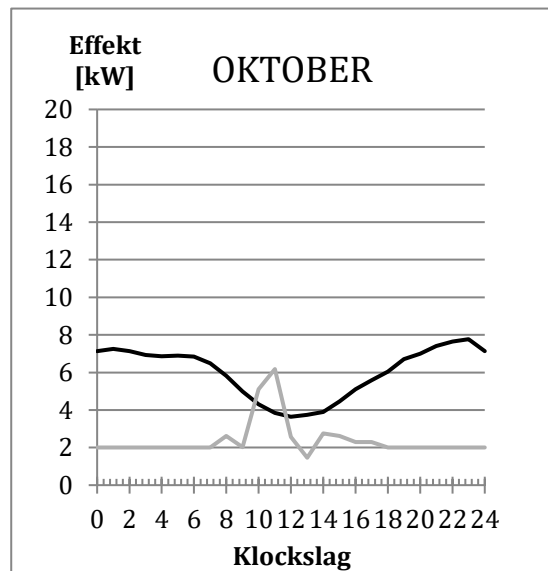
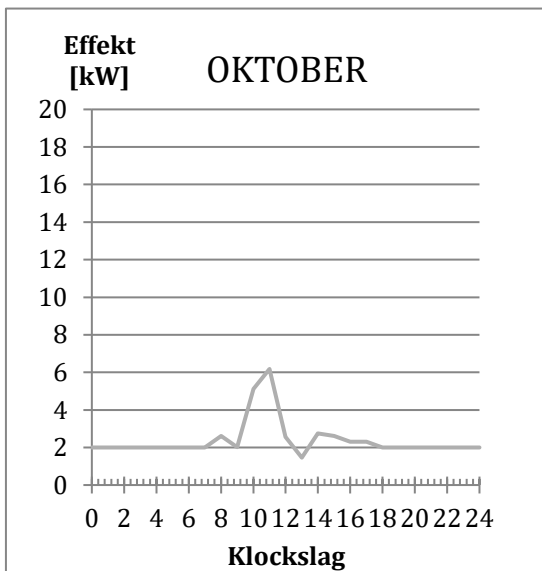
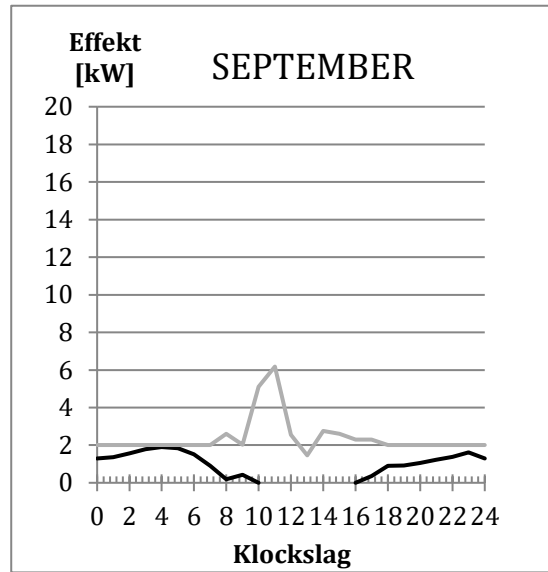
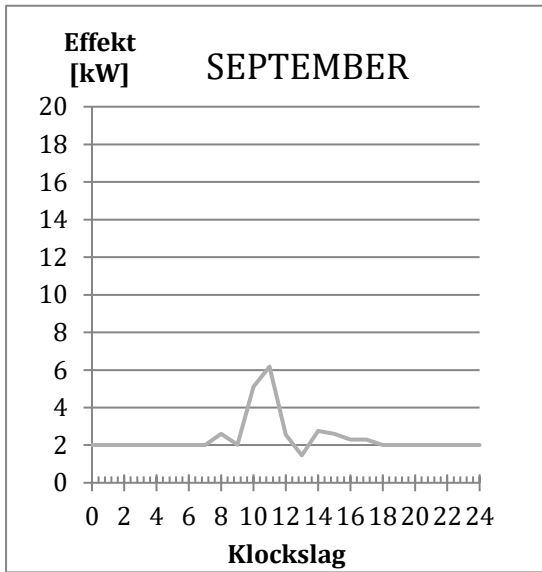
Enligt kapitel 5 så är det mer lönsamt energimässigt att återvinna överskottsvärmen till golvvärmesystemet än till luftbehandlingssystemet på grund av att golvvärmen har mycket större värmebehov än eftervärmningsbatteriet. Detta beror på att eftervärmningsbatteriet enbart värmer tilluften medan golvvärmen ska ta hand om resterande värmebehov i byggnaden. Samma överskottseffekt finns tillgängligt i båda fallen men den kan utnyttjas till golvvärmen under längre tid då den är igång även på nätterna. Dessutom behöver golvvärmen användas fram tills det är $+13^{\circ}\text{C}$ utomhus medan värmebatteriet stängs av redan vid $+5^{\circ}\text{C}$.

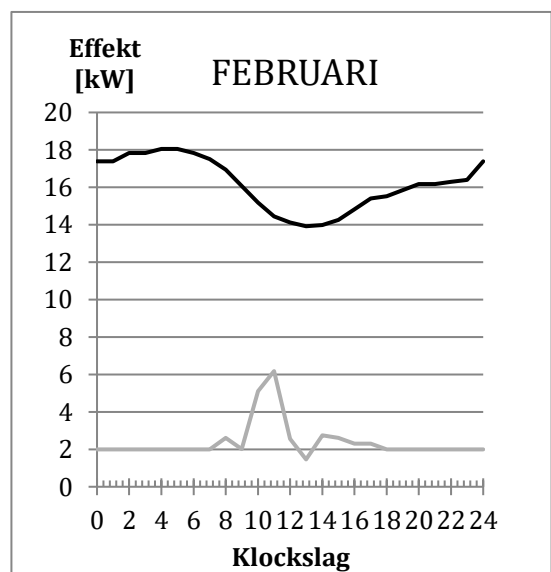
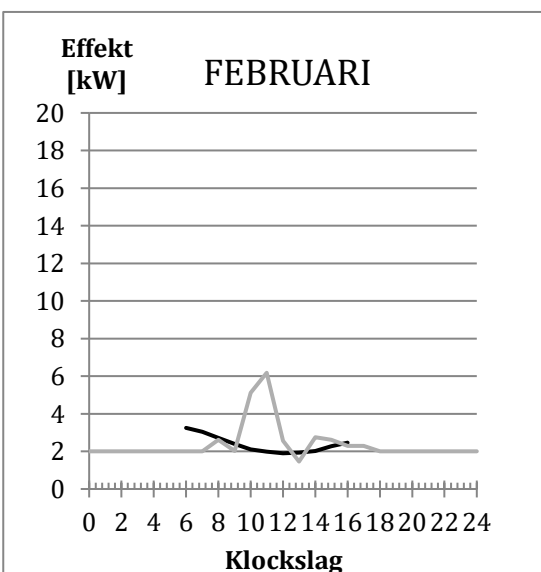
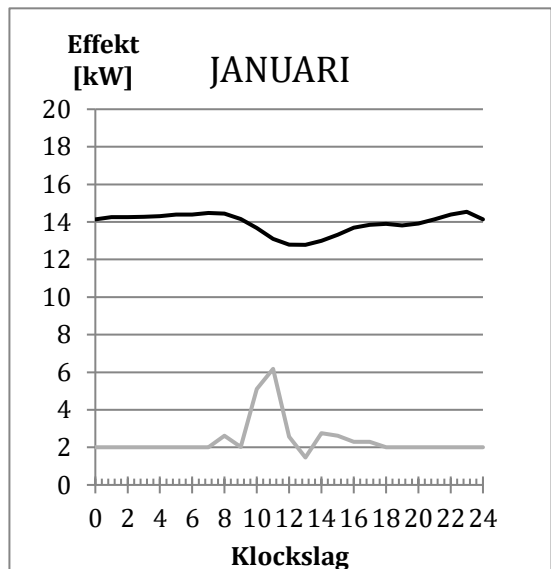
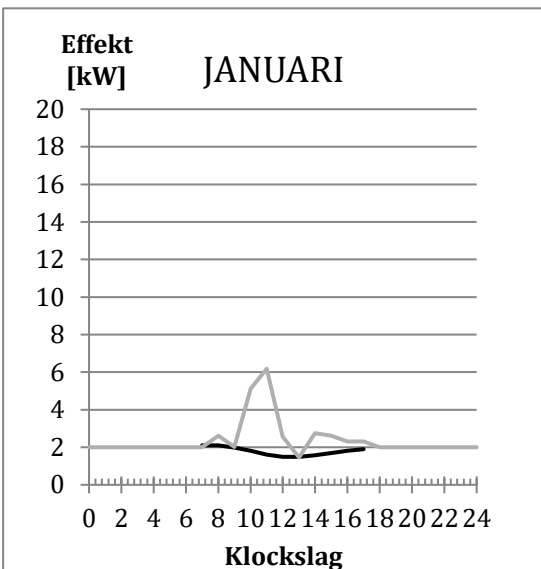
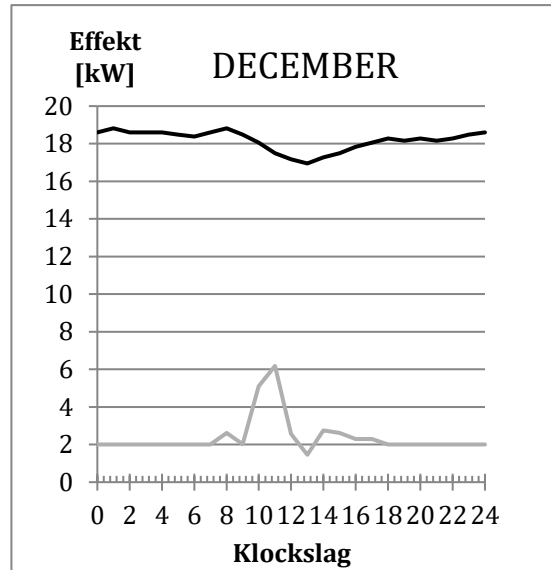
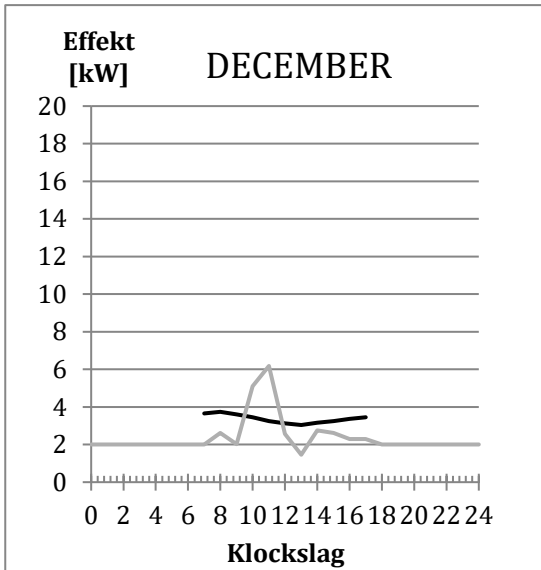
I diagrammen nedan visas hur effektbehovet för värmebatteriet respektive golvvärmesystemet varierar under året. Detta är baserat på beräkningarna av överskottsvärmeeffekt från kapitel 4 samt beräkningar av värmebehov för de olika systemen. Värmebatteriets värmebehov visas i den vänstra spalten och golvvärmens värmebehov visas i den högra. De varmare månaderna på året visas inte eftersom att det inte finns något värmebehov till varken eftervärmningsbatteriet eller golvvärmen då utomhustemperaturerna är höga. Dessutom är skolan stängd från juni till augusti. Utomhustemperaturerna som används månadsvis i diagrammen räknas fram som medeltemperaturer för varje klockslag under respektive månad. Detta görs för att kunna visualisera hur värmebehovet för de två systemen varierar under året och hur värmeöverskottet från kylsystemet överensstämmer med värmebehoven.

Den gråa linjen visar hur värmeöverskottseffekten varierar under dygnet. Den påverkas inte av utomhustemperaturen och därför ser kurvan likadan ut för varje månad. Den svarta linjen visar effektbehovet för systemen. När den svarta linjen hamnar ovanför den gråa linjen innebär det att överskottsenergin inte tas tillvara helt. Eftervärmningsbatteriet är endast igång mellan 07:00-17:00 då det är verksamhet i skolan. Därav startar inte den svarta linjen vid noll i diagrammen på vänster sida. Den svarta kurvan för värmebatteriet visas enbart för december, januari och februari eftersom att endast då finns det behov av att värma tilluften efter värmeåtervinningen från frånluften. För golvvärmen däremot så finns det värmebehov från september till maj.

VÄRMEBATTERI

GOLVVÄRME





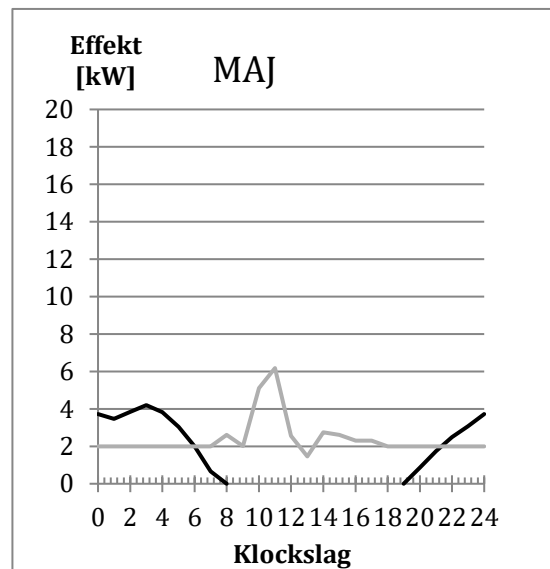
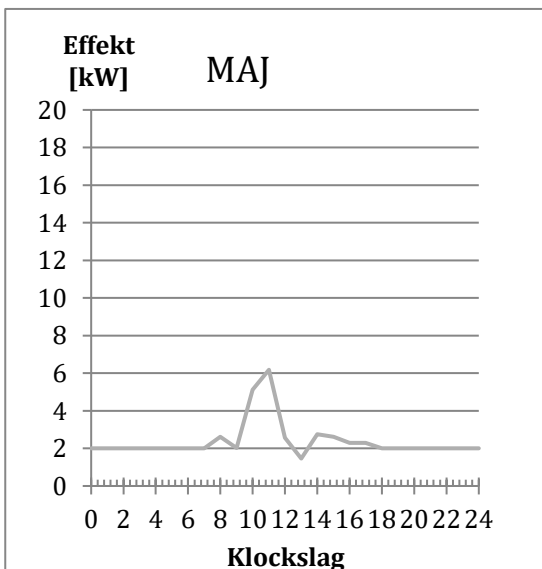
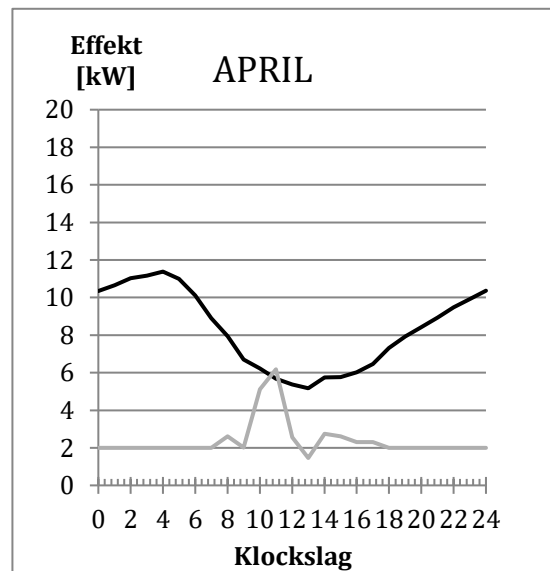
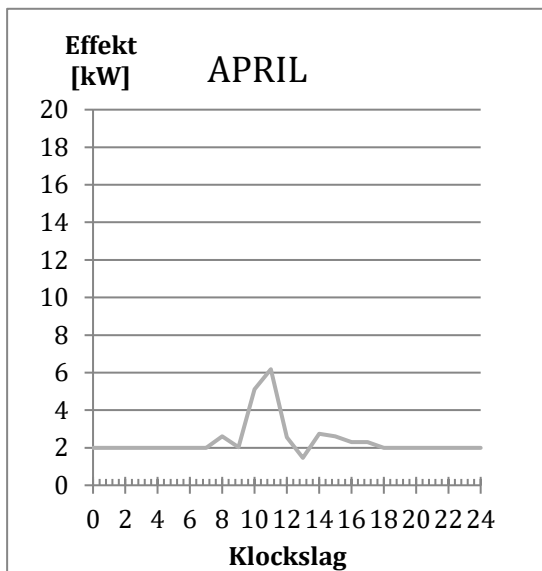
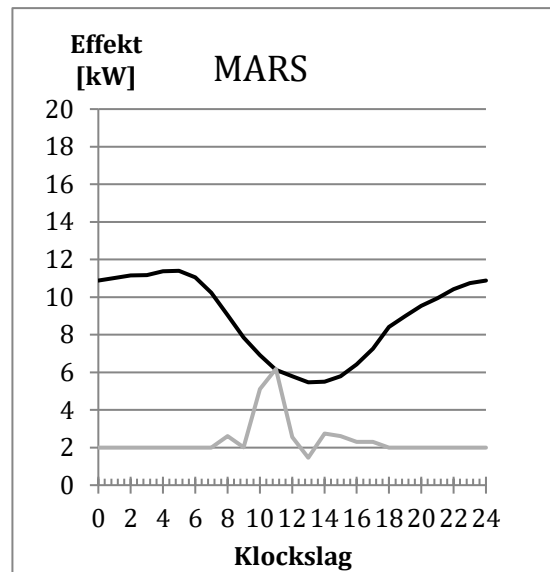
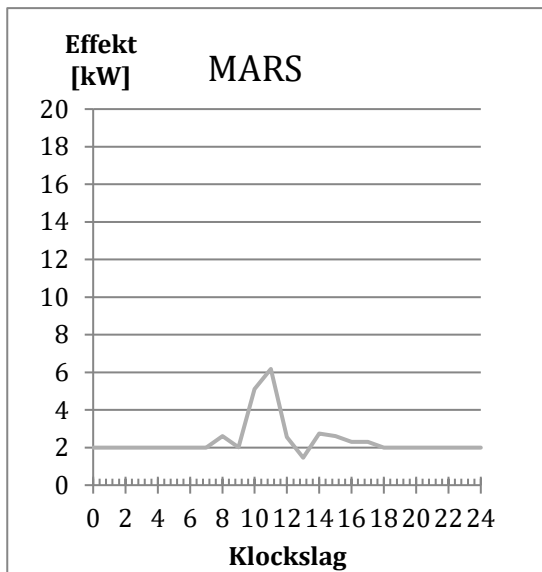


Diagram 6.1 I diagrammen visas hur värmeeffektbehovet för eftervärmningsbatteriet respektive golvvärmen överensstämmer med överskottseffekten från kylsystemet.

Notera att golvvärmesystemet kan ta tillvara på överskottsvärmen under fler månader än vad värmebatteriet kan. Se också hur golvvärmesystemet tar hand om överskottsenergin under natten till skillnad från värmebatteriet.

”U-formen” på de svarta kurvorna beror på att utomhustemperaturen ökar mitt på dagen vilket leder till att systemens värmebehov blir mindre. I diagrammen syns att då värmebehovet minskar så missas ibland toppen av överskottsvärmen, det vill säga att överskottsvärmen inte kan tas tillvara för fullt. Detta syns mycket tydligt i diagrammen för golvvärmen under september och maj. För värmebatteriets del missas alltid toppen.

Till skillnad från eftervärmningsbatteriet och golvvärmesystemet är förvärmning av tappvarmvatten oberoende av utomhustemperaturen. Varmvattenförbrukningen varierar inte heller under året utan antas vara konstant. Eftersom att tappvarmvatten används under skolans drifttimmar kan överskottseffekten tas tillvara under vardagar mellan 07:00 och 17:00. Detta gör att drifttimmarna blir 2 070h/år, då det inte uppkommer någon temperaturgräns för när återvinning inte är möjlig. Det ger att drifttimmarna hamnar på ungefär hälften av golvvärmens 4 292h/år och mer än dubbelt så mycket som eftervärmningsbatteriets 819h/år. Kapacitet att ta tillvara på överskottsvärmen ligger därmed mitt emellan de andra två systemen.

Eftersom att värmeeffektbehovet för tappvarmvatten antas, enligt kapitel 5.3.1, alltid vara större än överskottseffekten på Furulidskolan behöver den därför aldrig missa ”peaken” av överskottsvärmen i diagrammen så som de andra två systemen gör under vissa månader.

6.2 Jämförelse av kostnader

I kapitel 5 redovisas ungefärliga installationskostnader för de olika återvinningsalternativen. Resultatet visar att det är mest ekonomiskt på Furulidskolan att återvinna överskottsvärmen till förvärmning av varmvatten då det betalar sig efter 36 år. Eftersom att Furulidskolans ackumulatortankar för varmvattenberedning ligger i panncentralen som är placerad 50 meter bort från skolan behöver 100 meter extra rördragningar göras vid återvinning av överskottsvärmen. Om ackumulatortanken istället hade legat närmre källan för överskottsvärme och extra rördragningar hade kunnat undvikas så skulle antalet år innan återvinningen blir lönsam kunna halveras. Återbetalningstiden hamnar då på ungefär 20 år om kostnaden för rör räknas bort. Att återvinna överskottsvärme till varmvattenberedning kan därför vara intressant att studera i projekt där den ligger närmare kylsystemet.

Installationskostnaderna för att återvinna överskottsvärme är lägst för alternativet med eftervärmningsbatteriet. Dock är det så lite energi som kan återvinnas på Furulidskolan att återvinningsystemet i detta fall lönar sig först om 68 år. De tillkommande installationskostnaderna för återvinning är alltså ändå för höga jämfört med den kostnadsbesparing som fås från energiåtervinningen och därmed är det inte aktuellt att utföra lösningen på Furulidskolan.

I fallet med golvvärme krävs stora ytor av uppvärmd golvyta för att kunna ta tillvara på överskottsvärmen för fullt. Detta ett nära dubbelt så dyrt alternativ jämfört med att ha uppvärmning med radiatorer (Purmo, 2016). Golvvärme kan också vara en nackdel på grund av att det lätt blir övertempererat i rummen, detta på grund av att golvvärmen är ett trögreglerat system (Vattenfall, 2016). Därmed blir den även cirka 15 % dyrare i drift än radiatorsystemet (Purmo, 2016). Denna lösning blir alltså endast lönsam då det redan bestämts att golvvärme skall stå för uppvärmningen i byggnaden. Om golvvärmen hade varit planerad att täcka hela värmebehovet på Furulidskolan hade återvinningen av överskottsvärmen betalat sig redan efter 12 år. Såsom Furulidskolan är planerad nu kommer det ta närmare 70 år innan det lönar sig. Därmed är den inte heller aktuell att utföra på Furulidskolan.

Något som inte tagits med i kostnadsberäkningarna är att vid återvinning av överskottsvärme minskar även belastningen hos kylmedelkylaren. Detta beror på att returtemperaturen i KMK-kretsen blir något lägre då återvinning sker och därför behöver kylmedelkylaren inte arbeta lika mycket. På grund av den låga och ojämna återvinningen är det svårt att bedöma hur mycket som kan sparas (Mårdbrink, 2016).

7 Diskussion

I det här kapitlet tas diskussioner upp kring hur resultaten hade påverkats om förutsättningarna hade sett annorlunda ut. Fokus har lagts på hur kylsystemets storlek och skolans placering klimatmässigt påverkar återvinningsmöjligheterna av överskottsvärmen. Syftet är att komma fram till mer generella resultat och att visa utrymme för vidare studier inom ämnet.

7.1 Påverkan av kylsystemets storlek

Ett kylsystems storlek kan variera mycket för olika skolor beroende på vad det är för verksamhet som bedrivs i skolköket. I vissa skolkök, som till exempel i Särö skola, lagas mat även för andra enheter såsom kringliggande skolor och ålderdomshem. På Furulidskolan däremot sker endast uppvärmning av den färdiglagade maten. Furulidskolans kylsystem är dimensionerat för 8,4 kW. Om det jämförs med Särö skolas kylsystem som är dimensionerat för 129,6kW så är det mer än 15 gånger större på grund av köksverksamheten. Ju mer verksamhet det är i köket desto större kylsystem behövs för att försörja kyl- och frysutrymmena och ju större kylsystemet är desto mer överskottsvärme finns tillgängligt.

För en skola med ett stort kylsystem krävs ungefär samma åtgärder som för en skola med ett mindre, då ett återvinningssystem ska installeras. Shuntgruppens storlek behöver troligen ökas något, men kostnader för installationer samt för ökning av batteristorlek skiljer sig inte mycket åt. Det kan därför vara lönsamt att installera återvinning i en skola med ett större kylsystem.

Den genomsnittliga eleffekten för Särö skola har beräknats till 13,1 kW enligt kapitel 4. Om COP-värdena antas vara samma för Särö skola som för Furulidskolan så kan eleffekten multipliceras med COP_{medel} på 1,8 (Bilaga 5) för att få fram genomsnittlig överskottseffekt. Därefter, för att ta fram hur mycket energi som kan återvinnas från kylsystemet multipliceras överskottseffekten med antalet drifttimmar som luftbehandlingsaggregatet behöver vara igång.

$$13,1kW \cdot 1,8 \cdot 819h/\text{år} = 19\,312kWh/\text{år}$$

Återvinningsbar energi för Särö skola hamnar alltså på 19 312 kWh/år och med ett pelletspris på 0,54 kr/kWh ger det en ungefärlig besparing på

$$0,54\text{ kr}/kWh \cdot 19\,312kWh/\text{år} = 10\,428,5kr/\text{år}$$

Jämfört med Furulidskolans besparing på 805,6 kr/år så är detta ett system som är stort nog för att överväga ett återvinningssystem till. Eftersom att installationskostnaderna inte bör öka i någon större skala kan det rimligen antas att

återvinningssystemet på Särö skola borde löna sig inom ett spann på 10-20 år enligt ekvationen i kapitel 5.1.3. Antagandet görs att lönsamheten blir högre även till de andra systemen, dvs. golvvärme- och tappvarmvattensystemet.

7.2 Påverkan av klimatförutsättningar

I den här rapporten har en skola undersökts, med förutsättningen att den är belägen i Kungsbacka kommun. Om skolan istället hade varit belägen i Jokkmokk, som är den ort i Sverige med lägst DVUT (Warfvinge, Dahlblom, 2014) så hade potentialen för återvinning sett annorlunda ut. DVUT för Jokkmokk ligger så lågt som $-34,8^{\circ}\text{C}$ jämfört med Kungsbackas -16°C . Det gör att värmebehovet för alla systemen uppstår fler timmar under ett år och därmed kan överskottsvärmen tillvaratas under en längre period.

antas vara densamma om Furulidskolan flyttades från Kungsbacka till Jokkmokk. Om man däremot ser till alternativen med eftervärmningsbatteri och golvvärme blir potentialen att återvinna värmen till de systemen mer intressanta i Jokkmokk. För de båda systemen ökar värmebehoven avsevärt med fler timmar av låga utomhustemperaturer. Eftersom att det inte är helt realistiskt att värma hela skolan enbart med golvvärme anses eftervärmningsbatteriet vara den bästa lösningen för Furulidskolan då den hade legat i Jokkmokk.

I Lund är DVUT $-11,6^{\circ}\text{C}$ (Warfvinge, Dahlblom, 2014) och därmed blir potentialen för att använda överskottsvärmen till eftervärmningsbatteriet eller till golvvärmen mindre intressanta om man hade flyttat Furulidskolan dit. Detta beror på att värmebehovet i söder minskar och eftersom att kostnaden för att installera återvinningssystemet är densamma där blir alternativen mindre lönsamma. I Lund blir därför återvinning till tappvarmvatten den mest intressanta lösningen.

7.3 Felkällor

Diagrammen som visar överskottseffekten från Furulidskolan är baserade på eleffektmätningar som utfördes på Särö skola under en full skoldag. Dessa mätningar gjordes endast en dag och därför kan resultaten antas variera under ett år. För att försöka påvisa att eleffekten ligger ungefär lika från dag till dag gjordes även elenergimätningar under en månad. Dock hade eleffektmätningar över en heldag behövts göras ett flertal gånger, och helst under olika månader för ett mer korrekt/trovärdigt resultat.

Temperaturdata som använts i Tabellerna 5.1 och 5.2 samt till diagrammen i kapitel 6.1 har tagits från enbart ett år, 2012. För att få fram mer korrekta värden över hur ett års temperaturer varierar hade data från fler år behövt undersökas och sammanställas. Då fullständiga värden har saknats för fler år valdes 2012 på grund av att det låg

närmast idag. Om möjligt hade ett 10-års period setts över och ett snittvärde sammanställts och använts i beräkningarna.

Antagandet som gjorts att eleffekten ser likvärdig ut för Furulidskolan som för Särö skola på grund av den likvärdiga verksamheten kan ifrågasättas. Antagandet har gjorts på grund av att Furulidskolan inte varit färdigprojekterad och ungefärlig effekt har behövt uppskattas. I verkligheten förekommer dock skillnader i användning trots likvärdig verksamhet, då alla skolor inte ser ut och fungerar exakt likadant.

Kylsystemet på Särö skola innehåller andra komponenter, som exempel snabbnedkylningstunnlar och luftkylare till köket. För mer exakta värden kanske en skola mer lik Furulidskolan, med ett mindre och enklare kylsystem, hade behövts göra mätningar på istället.

Även antagandet av hur mycket överskottsvärme som kan tillvaratas procentuellt under dagen vid förvärmning av tappvarmvatten kan diskuteras. Antagandet är gjord som en uppskattning och tappvattenflödena hade behövt mätas för att ge mer korrekta resultat.

8 Slutsats

Trots minskad energianvändning är det inte säkert att det är lönsamt ur ett kostnadsperspektiv att återvinna värmen från kylsystemet. Det kan dock ändå vara intressant ur ett miljömässigt perspektiv, vilket efterfrågas mer och mer idag. Det kan tyckas vara mycket pengar att investera omkring 60 000 kr för återvinning av tilläggsvärme, men om man jämför det med kostnader för hela kylsystemet blir det bara en liten andel.

Problemet ligger inte bara i om återvinningen är lönsam eller ej, utan också i vem det är som kommer att stå för alla kostnader. Även om resultaten visar på att driftkostnaderna för kylsystemet kan minskas är det trots allt en bieffekt av att investeringskostnaderna blir högre. Kommunerna har inte råd att projektera skolor med förluster, även om ändamålet är att spara på miljön. För dem blir det intressant först om projektet kan gå med vinst alternativt om kostnader och besparingar går jämnt ut. På grund av att installationernas livslängd är kortare än byggnadens innebär det att investeringskostnaderna behöver vara återbetalda innan dess rör och shuntgrupper måste ersättas med nya. Det ger att tiden för återbetalningen blir begränsad.

Hur ska det då avgöras om en skola är värd att investera ett återvinningssystem i? Enligt resultaten i denna undersökning är det inte ekonomiskt lönsamt med ett återvinningssystem till Furulidskolan eller andra skolor som har ett litet kylsystem. Däremot är det värt att undersöka möjligheter hos skolor med lite större kylsystem, t.ex. då matlagning sker på skolan. Då bör undersökas vilket system som är bäst lämpat under skolans förutsättningar, exempelvis om skolan ska ha golvvärme eller om utrymmen för ackumulatortankar finns att tillgå i närheten av skolan. Dessutom, som tas upp i analysen, passar olika system bäst beroende av vart i landet skolan är placerad. De återvinningsalternativ som undersökts i det här arbetet skulle kunna vara en bra komplettering till solfångare då solen inte skiner så mycket under vinterhalvåret.

Enligt beräkningarna i detta arbete visade det sig vara återvinning till golvvärme som bäst klarar av att ta hand om överskottsvärmen från kylsystemet. På grund av att golvvärmen är igång även under natten och de andra systemen endast används under skoltimmarna kan systemet nyttja värmen under längre tid. Däremot var det återvinning till tappvarmvatten som resulterade i det mest ekonomiskt lönsamma alternativet då investeringskostnaderna inte är lika omfattande för det systemet. Det absolut mest lönsamma alternativet är att återvinna till golvvärme under förutsättningen att golvvärmeslingor redan finns i byggnaden i stor utsträckning. Det är alltid mer lönsamt att välja återvinning till det systemet som redan finns på skolan jämfört med att investera i ett extra system. Då undviks nya investeringskostnader utöver den shuntgrupp eller värmeväxlare som krävs oavsett vilket alternativ som väljs.

Resultaten som har presenterats här har endast varit gällande Furulidskolan utefter de förutsättningar som gavs vid projektets start. De återvinningsalternativ som tagits upp ansågs vara enkla att utföra till de system som var planerade för skolan. Det finns såklart andra alternativ som vore möjliga men som inte har undersökts närmre här. Som ett exempel skulle man kunna välja att värma byggnaden med ventilationssystemet, och därigenom kunnat nyttja fler timmar för fallet med eftervärmningsbatteriet (Gustén, 2016). Ett annat alternativ hade varit att använda större ackumulatortankar för att lagra värme i kombination med att koppla överskottsvärmen direkt till tankarna (Gustén, 2016). Möjligheterna är många och då våra undersökningars resultat visade sig vara olönsamma för Furulidskolan så kan det finnas andra bra alternativ även för skolor med mindre kylsystem.

9 Referenser

Litterära källor

Petersson, B-Å. (2008) *Tillämpad byggnadsfysik*. Upplaga 3:2. Hungary: Studentlitteratur AB.

Warfvinge, C och Dahlblom, M. (2014) *Projektering av VVS-installationer*. Upplaga 1:7. Lund: Studentlitteratur AB.

Abel, E och Elmroth, A. (2008) *Byggnaden som system*. Andra reviderade upplagan. Formas.

Webbkällor

Armatec (2008) *Handbok vätskeburen kyla, Utgåva 3*
www.armatec.com/upload/handbocker/Vätskeburen_kyla_2008_low.pdf (2016-02-07)

Armatec (2016) *Hur ska ett system för ackumulering av varmvatten dimensioneras?*
<http://armatec.com/se/teknisk-hjalp/artiklar/hur-ska-ett-system-for-ackumulering/>
(2016-04-07)

Belok (2015) *Miljoner att spara på energieffektiva storkök*
http://belok.se/download/genomforda_projekt/Belok_storkok_broschyr.pdf (2016-02-12)

Drivteknik (2016) *Krav på kylaggregat*
<http://www.drivteknik.nu/skolan/inkop/krav-p-kylaggregat> (2016-05-19)

Ekologiska byggvaruhuset (2016) *Dusch värmväxlare*
<http://www.ekologiskabyggvaruhuset.se/p/273/duschvarmevaxlare>
(2016-05-18)

Elitfönster (2015) *Matris gällande Solfaktor/G-värde vid olika glasval och i kombination med persienn* http://www.elitfonster.se/Documents/Produktblad/G-vardes_matris.pdf (2016-05-06)

Energi och klimatrådgivningen (2016) *Pellets–billigt biobränsle*
<http://www.energiradgivningen.se/foretag/energi priser> (2016-04-13)

Energimyndigheten (2011) *Akkumulatortankar får värmen att räckta längre*
<http://www.helsingborg.se/wp-content/uploads/2012/05/akkumulatortank.pdf> (2016-05-10)

Energimyndigheten (2016) *Krav på kylaggregat*
<http://www.mefor.se/DocumentsEnig/Krav%20p%C3%A5%20kylaggregat.pdf>
(2016-05-10)

Energiportalen (2016) *Golvvärmesystem*
<http://www.energiportalen.se/energiguiden/golvvaermesystem-1486.asp> (2016-05-13)

Hyssna solvärme (2016) *Akkumulatortank*
http://www.hyssnasolvarme.se/forklaring_ackumulatortank.html
(2016-05-27)

Kungsbacka kommun (2014) *Planbeskrivning*
<http://www.kungsbacka.se/PageFiles/2262/Furulid%20GRANSKN%20handling2.pdf>
(2016-05-10)

Kungsbacka kommun (2015) *Sommarlov i Kungsbacka*
<http://www.sommarlovet.se/datum/kungsbacka/> (2016-02-19)

LK Systems (2016) *FAQ Golvvärme* <http://www.lksystems.se/sv/LK-Systems-Sverige1/Golvvarme/Support-Golvvarme/FAQ-Golvvarme> (2016-05-09)

Purmo (2016) *Vad kostar golvvärme jämfört med radiatorer*
<http://cleverheating.se/vad-kostar-golvvarme-jamfort-med-radiatorer/> (2016-05-19)

Rinkaby rör (2016) *Kulvertrör Uponor*
<http://www.rinkabyror.se/artiklar/varmepannor-och-tillbehor/kulvertror/kulvertror-uponor/> (2016-05-19)

Shuntab Sverige AB (2003) *Vad är en shuntgrupp*
www.shuntab.se/Dokumentation/Ovrig_dok/Hur_fungerar_en_shuntgrupp.doc (2016-04-10)

SMHI (2016) *Meteorologiska observationer* <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/#> (2016-03-10)

Stratsys (2016) *Resultat*
<http://jamforelse.stratsys.se/v5.5/Accessibility/Compare/Kungsbacka/2?departmentIds=135> (2016-05-10)

Thermia (2016) *Årsvärmefaktor*
<http://www.thermia.se/varmepump/varmepump-verkningsgrad.asp> (2016-06-11)

Vattenfall (2016) *Välj rätt värmesätt*
<https://www.vattenfall.se/smarta-hem/lev-energismart/minska-varmekostnaden/olika-varmekallor/> (2016-05-25)

Andra skriftliga källor

Callheim, B. (2015) *Tekniskt funktionsprogram*. Consult administration AB, Kungsbacka, Sweden

Callheim, B. (2016) *Rumsfunktionsprogram*. Consult administration AB, Kungsbacka, Sweden

Johansson, J. (2016) *LK Under Floor Heating*. LK Systems AB, Göteborg, Sweden, 2016, 6 sid.

Johansson, J. (2016) *LK Golvvärme*. LK Systems AB, Göteborg, Sweden, 2016, 1 sid.

Johansson, M. (2016) *Premablock shuntgrupper*. [principschema] Prema AB , Göteborg, Sweden, 2016

Larsson, G. (2015) *Energianalys - Bedömning av byggnadens energianvändning*. Kungälv kommun, Sweden, 2016

Nyberg, A. (2016) *ACON-01815120*. [körning] FläktWoods AB, Göteborg, Sweden, 2016

Utterhall, T. (2016) *Kalkyl VVS på programhandling*. WSP, Göteborg, Sweden, 2016

Ånger, S. (2016) *Värmeeffektbehov_indikator_2*. WSP, Göteborg, Sweden, 2016

Åberg, E. (2014) *Projekteringsanvisningar VVS 141117*. Kungälv kommun, Sweden, 2016

Muntliga källor

Ahlström Mikael (2016) Drifttekniker. Mail- och telefonkontakt samt studiebesök. Kungälv kommun. Kungälv

LK Systems (2016) Teknisk support. Telefonkontakt. LK Systems AB. Göteborg

Lundin Lucas (2016) Kökspersonal. Studiebesök. Särö skola. Kungälv

Mårdbrink Dennis (2016) Utesäljare. Mail- och telefonkontakt. Ahlsell AB. Göteborg

Nyberg Andreas (2016) Försäljningsingenjör. Mail- och telefonkontakt. Fläktwoods AB. Göteborg

Prema (2016) Teknisk support. Telefonkontakt. Prema AB. Göteborg

Trüschel Anders (2016) Universitetslektor. Undervisning. Chalmers tekniska högskola. Göteborg

Thorin Tomas (2016) Uppdragsansvarig VVS.Handledning. WSP systems

Utterhall Tomas (2016) Biträdande avdelningschef VVS. Handledning. WSP systems. Göteborg

Ånger Simon (2016) Biträdande konstruktör/projektör. Handledning. WSP systems. Göteborg

Ritningar

Norconsult (2015) *Furulidskolan Hus A Programskiss Nedre plan*. [planritning]
Göteborg: Norconsult

Utterhall, T. (2015) *Systemhandling*. [principschema] Göteborg: WSP projekt.

Ekvationer

Ekvation 4.1 Trüschel Anders (2016) Universitetslektor. Undervisning. Chalmers tekniska högskola. Göteborg

Ekvation 4.2 Trüschel Anders (2016) Universitetslektor. Undervisning. Chalmers tekniska högskola. Göteborg

Ekvation 5.1 Truschel, A. (2015) *Grundläggande värmeöverföring i värmeväxlare*
<https://pingpong.chalmers.se/courseId/4986/node.do?id=2236252&ts=1424358214160&u=17112325911> (2016-03-31)

Ekvation 5.2 Warfvinge, C och Dahlblom, M. (2013) *Projektering av VVS-installationer*. Upplaga 1:7. Lund: Studentlitteratur AB. Sida 2:49

Ekvation 5.3 Truschel, A. (2015) *Byggnadens värme- och kylbehov*
<https://pingpong.chalmers.se/courseId/4986/node.do?id=2202804&ts=1422438571364&u=1711232591> (2016-03-31)

Ekvation 5.4 – Ekvation 5.9
Warfvinge, C och Dahlblom, M. (2013) *Projektering av VVS-installationer*. Upplaga 1:7. Lund: Studentlitteratur AB. Sida 4:9

Bilaga 1

FÖRSLAG FRÅN AHLSELL

Kylmedelkylare

Temperatur in, KMK: 38°C

Temperatur ut, KMK: 32°C

Flöde: 1820 l/h

Kompressor, frysrum

Kylkapacitet: 1,29 kW

Eleffekt: 1,38 kW

Total utgående effekt: 2,60 kW

COP (Coefficient Of Performance): 0,93

Kompressor, kylrum samt kylskåp

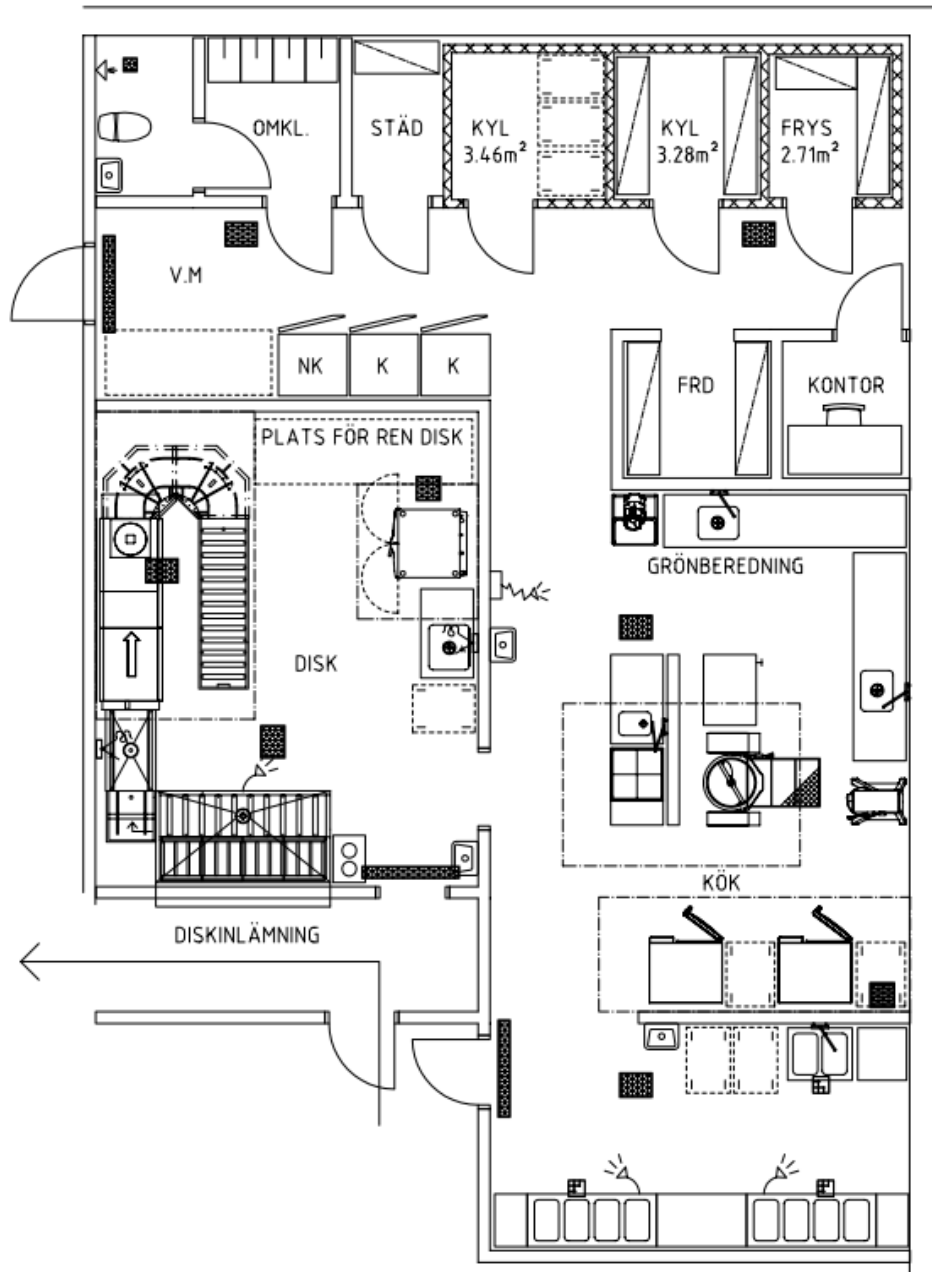
Kylkapacitet: 4,17 kW (Kylkapacitet)

Eleffekt: 1,72 kW (Eleffekt)

Total utgående effekt: 5,80 kW

COP (Coefficient Of Performance): 2,42

Bilaga 2



Planritning från programskiss över Furulidskolans kök. (Källa se A-mapp).

Bilaga 3

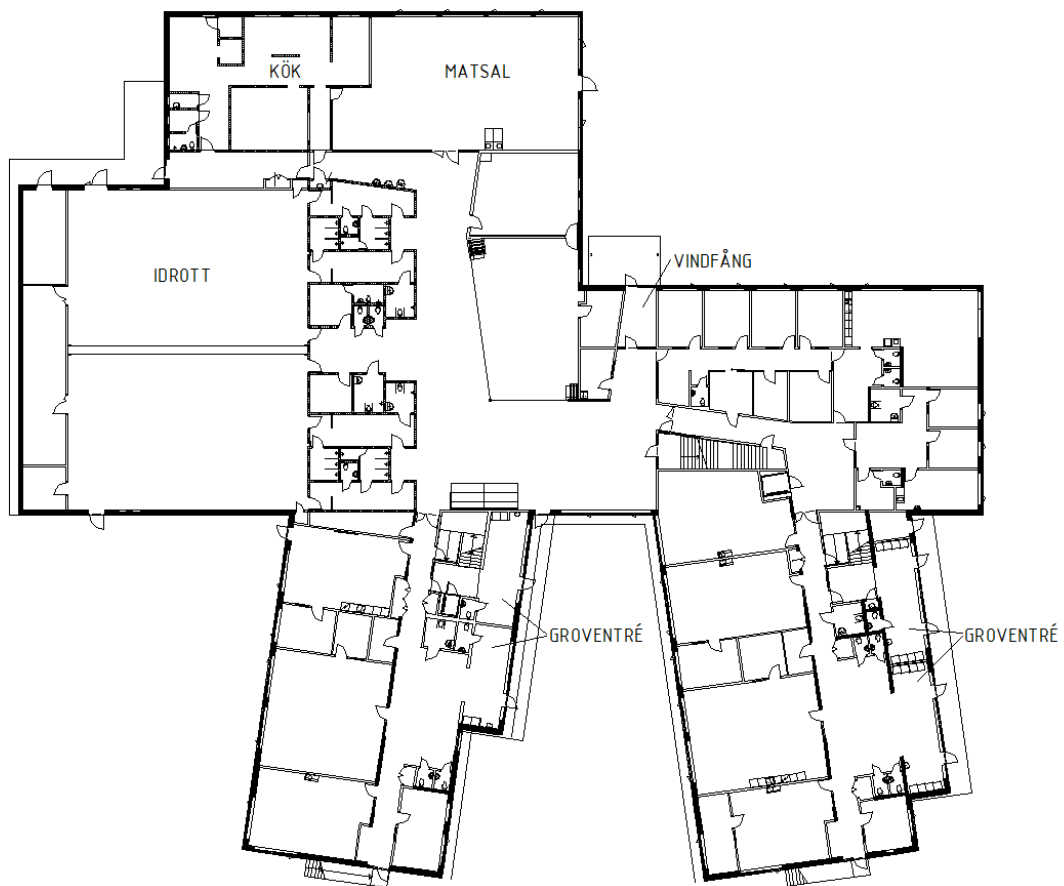
Planritning över plan 1

Area golvvärme

Vindfång: 11,4 m²

Groventré: 25,5 + 26,9 + 23,8 + 21,1 = 97,3 m²

Plan 1:



Bilaga 4

Mätningar från elmätare, Särö skola

22/3: 463 949,6kWh

4/4: 468 042,3kWh

11/4: 470 2797,7kWh

19/4: 472 757,2kWh

Total elenergi mellan de 28 dagarna: 8807,6kWh

Bilaga 5

$$COP_{max,kyl} = 2,42$$

$$COP_{min,kyl} = 1,6$$

$$COP_{max,frys} = 0,93$$

$$COP_{min,frys} = 0,51$$

COP-värdena multipliceras med antalet kyl- respektive frys-komponenter för att få fram ett medel COP_{kyla}

$$COP_{kyla,max} = \frac{1 \cdot 0,93 + 5 \cdot 2,42}{6} = 2,2$$

$$COP_{kyla,min} = \frac{1 \cdot 0,51 + 5 \cdot 1,6}{6} = 1,42$$

$$COP_{medel} = \frac{2,2 + 1,4}{2} = 1,8$$