



# Vätskekopplad värmeåtervinning



# Vätskekopplad värmeåtervinning

Jan-Olof Dalenbäck,  
Chalmers tekniska högskola



Energimyndighetens projektnummer: P2018-90129

E2B2



## Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 21 december 2022

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



## Sammanfattning

Värmeåtervinning är en förutsättning för att en byggnad i Sverige ska vara energieffektiv. Vätskekopplade system har fördelar som gör det möjligt att återvinna värme i betydligt fler byggnader än med andra alternativ. En nackdel är dess förhållandevis låga temperaturverkningsgrad som dessutom är svår att upprätthålla under alltmer varierande driftförhållanden.

Projektets syfte var dels att kontrollera, åtgärda och följa upp befintliga system, dels att testa, utveckla och utvärdera olika sätt att öka prestandan i nya system. Genomförandet var tänkt som en kombination av studier i form av fältmätningar, teoretiska beräkningar och praktiska försök i laboratorium samt implementering i pilotprojekt. Projektet skulle dels generera väl underbyggda rutiner för driftoptimering, dels identifiera med dagens teknik kostnadsoptimal temperaturverkningsgrad samt hur mycket den kan höjas med hjälp av ej ännu konventionell teknik.

Projektet började, som beskrivs ovan, med att ganska förutsättningslöst diskutera olika möjliga förbättringsåtgärder, liksom dimensionering och driftuppföljning, och snävade sedan in på utformningen av vätskekretsen och styrning av vätskeflödet.

Med ambitioner om hög temperaturverkningsgrad och behovsstyrda luftflöden, får styrningen av vätskeflödet en avgörande betydelse. Vi har också kunnat konstatera att mätningen av vätskeflöde, som oftast är baserad på tryckfall (över en värmeväxlare eller en mätfläns) är väldigt känslig med avseende på vätskans egenskaper.

Det viktigaste resultatet från projektet är därför en ny metod att styra vätskeflödet med ambitionen att den ska kunna implementeras och testas i ett nytt projekt.

*Ventilation, värmeåtervinning, vätskekoppling, styrning, modellvalidering*



## Summary

Energy efficient buildings in Sweden require heat recovery. Run-around coil systems enable heat recovery in more buildings than other technologies. The disadvantage is a comparatively low thermal efficiency, which is difficult to maintain under varying conditions.

The purpose of this project was partly to check, rectify and follow up existing systems and partly to test, develop and evaluate different strategies of enhancing the performance of new systems. The project was a combination of field studies, theoretical analyses, laboratory tests and implementation in pilot projects.

Results from the project were anticipated to include guidelines for operational optimization as well as identification of the current cost-optimal thermal efficiency and how much it can be increased by implementing technology not yet conventional.

The project started, as described above, rather impartially to evaluate different strategies to enhance the performance of the systems, as well as design and operation guidelines but was soon focused on the design of the liquid (brine) circuit and the control of the liquid flow rate.

In systems with high thermal efficiency and variable flow rates, the control of the liquid flow rate has a decisive influence on the thermal efficiency. We have also experienced that determining the liquid flow rate, typically based on a pressure drop measurement (across one of the coils or an orifice plate), is very sensitive to uncertainties regarding the thermophysical properties of the liquid.

The most important result from the project is thus a new method to control the liquid flow rate with the ambition to implement and test it in a new project.

*Ventilation, heat recovery, run-around coil, control, model validation*



## INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
2	GENOMFÖRANDE	9
2.1	MEDVERKANDE	9
2.2	PROJEKTPLANERING	9
2.3	MODELLUTVECKLING	9
2.4	FÄLTMÄTNINGAR	10
2.5	LABBMÄTNINGAR	11
2.6	FÖRLÄNGD PROJEKTTID	11
3	RESULTAT	12
3.1	MODELLUTVECKLING	12
3.2	FÄLTMÄTNINGAR	12
3.3	LABBMÄTNINGAR	12
4	DISKUSSION	15
5	PUBLIKATIONSLISTA	16
6	REFERENSER	17

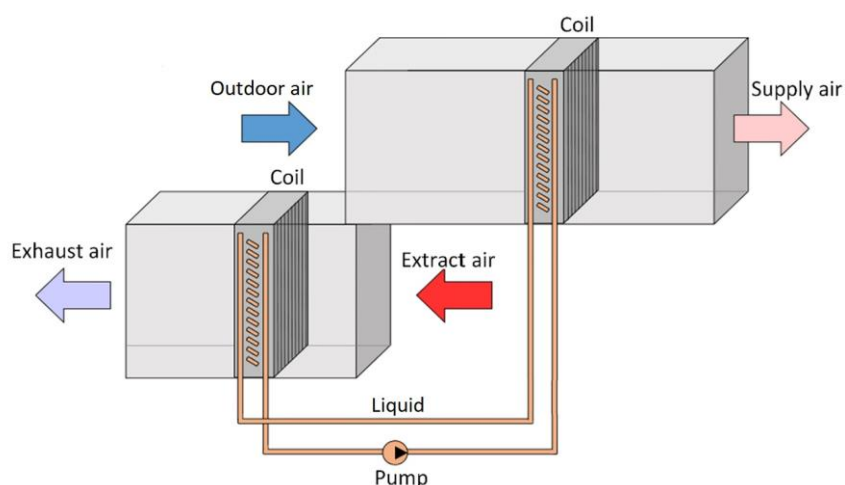


# 1 Inledning och bakgrund

Teorierna bakom dagens vätskekopplad värmeåtervinningssystem (VKVÅ) utvecklades redan i mitten av 70-talet av Roy Holmberg vid AB Svenska Fläktfabriken (idag FläktGroup AB). Teorierna är i princip lika sanna idag som de var då, men driftförutsättningarna har ändrats, vilket motiverar tillämpad forskning kring dimensionering och driftoptimering.

VKVÅ innebär att värmen ur frånluften tillförs tilluften via en vätskecirkulationskrets. De främsta fördelarna är den stora flexibiliteten, att till- och frånluftskanaler kan vara vitt skilda från varandra, att det inte finns någon risk för smittspridning och luktåterföring, och inte minst den höga utrymmes-effektiviteten. Det sistnämnda blir mer och mer viktigt i storstäder eftersom utrymme för tekniska installationer måste konkurrera mot det väldigt höga värdet av uthyrbar lokalyta. Dess flexibilitet är också en nyckel för framtidens mer sammankopplade system där till exempel spillvärme från en serverhall eller en kylmaskin kan värma luften i en intilliggande byggnads ventilationssystem.

Exempel på nya förutsättningar är högre krav på temperaturverkningsgrad vilket medför svårare avfrostningsproblematik och snävare felmarginaler för vätskeflödet. En tid efter att värmeåtervinning blev vanligt i svenska lokalbyggnader blev det också allt vanligare med behovsstyrda ventilationsflöden. Kombinationen av dessa energibesparingsåtgärder kräver särskild uppmärksamhet med avseende på drift och underhåll.



Principskiss för ett VKVÅ system

I en förstudie gjord på uppdrag av Belok bekräftades de tankar som motiverar att genomföra ett forskningsprojekt om VKVÅ [1]. Nämligen att det finns mycket vätskekopplad värmeåtervinning i svenska byggnader, och att det finns en stor förbättringspotential att öka temperaturverkningsgraden,



med reducerat energibehov som följd, i befintliga system. Initiativet till förstudien togs av Vasakronan, Sveriges största fastighetsbolag, som äger, utvecklar och förvaltar cirka 2,4 miljoner kvadratmeter kommersiella fastigheter. De såg en stor förbättringspotential i sina vätskekopplade värmeåtervinningssystem och har därför detta som ett av fem prioriterade teknikområden. Bara i Vasakronans vätskekopplade system skulle över 500 MWh värme sparas årligen av att höja den genomsnittliga temperaturverkningsgraden med en procentenhet.

Vasakronan initierade samverkan med konsulter hos CIT Energy Management, som i sin tur samverkade med Västfastigheter och Chalmersfastigheter, som båda har VKVÅ i en stor del av sitt fastighetsbestånd. Tekniklösningar med VKVÅ är speciellt vanligt i vårdfastigheter och det tycks finnas ett stort intresse av att samverka och medverka till att utveckla den aktuella tekniken.

Nackdelen med VKVÅ är den förhållandevis låga temperaturverkningsgraden, speciellt vid varierande driftförhållanden (obalanserade och variabla luftflöden). Traditionellt har temperaturverkningsgrader kring 50–60 % ansetts ekonomiskt optimala och en stor del av befintliga system ligger kring detta intervall. Ju sämre temperaturverkningsgraden är, desto mer lönsamt är det att höja den. För en byggnad i Stockholmsklimat med till- och frånluftstemperatur på 16 resp. 23 °C erhålls en större värmebesparing av att höja temperaturverkningsgraden från 50 till 60 % än att höja den från 60 till 100 %.

Från och med 2018 kräver ekodesigndirektivet en temperaturverkningsgrad på minst 68 % i nya system. Det sätt som ligger närmast till hands för att höja temperaturverkningsgraden är att öka värmeväxlarnas värmeöverförande yta, på bekostnad av pump- och fläktelbehov, materialåtgång och/eller utrymmesbehov.

Förstudien ledde till det här forskningsprojekt, finansierat av Energimyndigheten, hos Avd. för Installationsteknik, med CIT Energy Management, Vasakronan och FläktGroup som samfinansiärer [2]. Projektets syfte var dels att kontrollera, åtgärda och följa upp befintliga system, dels att testa, utveckla och utvärdera olika sätt att öka prestandan i nya system. Genomförandet var en kombination av studier i form av fältmätningar, teoretiska beräkningar och praktiska försök i laboratorium samt implementering i pilotprojekt. Projektet skulle dels generera väl underbyggda rutiner för driftoptimering, dels identifiera med dagens teknik kostnadsoptimal temperaturverkningsgrad samt hur mycket den kan höjas med hjälp av ej ännu konventionell teknik. Projektet, omfattande teori, fältmätningar och labbmätningar, med syfte att föreslå förbättringsåtgärder, såväl i befintliga som nya anläggningar, är nu genomfört och redovisas i denna rapport.



## 2 Genomförande

### 2.1 Medverkande

Projektet genomfördes som nämnts som ett forskningsprojekt vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers tekniska högskola i samarbete med CIT Energy Management AB, Vasakronan AB och FläktGroup AB.

Från avd. för **Installationsteknik** har följande personer medverkat:

- Jan-Olof Dalenbäck, *Professor, projektledare och handledare,*
- Lars Ekberg, *Adj./bitr. professor, handledare,*
- Anders Trüschel, *Universitetslektor, handledare,*
- Mohammad Mahmoud, *MSc, doktorand, modellutveckling, fältmätningar och artikel,*
- Torbjörn Lindholm, *Universitetslektor, labbmätningar*
- Håkan Larsson, *Labbingenjör, labbmätningar och fältmätningar*

Övriga medverkande:

- Peter Filipsson, *Tekn.dr., handledare, artiklar och labbmätningar,* **CIT Energy Management AB** (CIT Renergy AB from 2023),
- Åse Esselius, *Global air treatment marketing director, projektledare 2019-2020;* Fredrik Namander, *teknisk säljare;* Samuel Brunninge, *labbingenjör, artikel;* Mattias Gruber, *utvecklingschef och projektledare 2022-,* **FläktGroup AB,**
- Erik Eliasson, *Fastighetutvecklare teknik, projektledare 2019-2021;* Per Ingelsten, *fastighetsutvecklare teknik, projektledare 2022-,* **Vasakronan AB**

Genomförande var planerat i fem arbetspaket i ansökan och beslut [2]. I praktiken omfattade genomförande följande aktiviteter.

### 2.2 Projektplanering

Projektmöten hos Vasakronan, FläktGroup och Chalmers, för att planera projektets genomförande. Litteraturstudier som underlag för modellutveckling, fält- och labbmätningar. Planering av fältmätningar och inledande planering av installation av ett labbaggregat i avdelningens försöksfall.

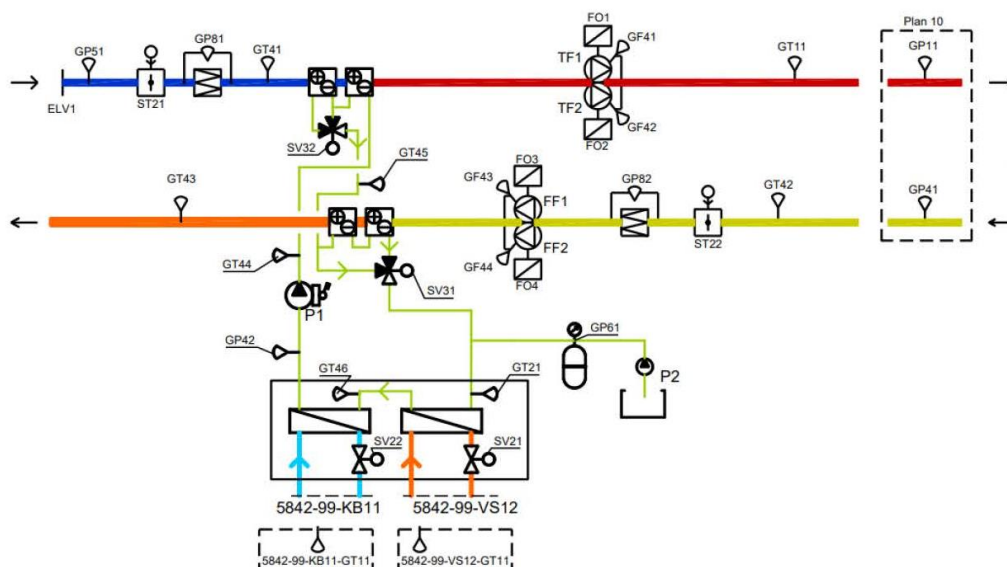
### 2.3 Modellutveckling



För att kunna utvärdera befintliga anläggningar i fält och för att planera och genomföra labbmätningar utvecklades en simuleringsmodell av ett vätskekopplat värmeåtervinningssystem baserat på litteraturstudier. Modellen, som utvecklades i programspråket Python, användes vid detaljerade utvärderingar av anläggningar hos Vasakronan och Västfastigheter. I anslutning till de avslutande labbmätningarna översattes teorin i den ursprungliga simuleringsmodellen till en mer ändamålsenlig modell i MATLAB.

## 2.4 Fältmätningar

En genomgång av aktuella befintliga anläggningar hos Vasakronan, Västfastigheter och Chalmersfastigheter. Ett antal anläggningar kollades upp med mindre detaljerade mätningar och speciellt två anläggningar, en äldre i köpcentret Arkaden (Vasakronan) och en nybyggd i Regionens Hus (Västfastigheter), utvärderades i detalj vid olika driftfall.



Skärmdump från driftkort LB08 – Regionens Hus

Båda de detaljstuderade systemen hade värmeväxlare för extern tillförsel av värme och kyla i vätskekretsen, se ovanstående driftkort LB08. Fördelen är att det blir mindre tryckfall i tilluftssystemet, nackdelen är att det blir sämre temperaturverkningsgrad och ställer större krav på styrsystemet. Det var också mer utmanande när det gällde utvärdering.





## 3 Resultat

### 3.1 Modellutveckling

I motsats till vedertagen teori kunde vi med den utvecklade modellen se att den högsta verkningsgraden erhålls då vätskans värmekapacitetsflöde är något högre än luftens. Vi kunde också studera hur laminärt flöde i värmeväxlarna vid låga vätskeflöden inverkar på verkningsgraden.

Modellen validerades med mätningar i ett labbaggregat hos FläktGroup och har beskrivits i en vetenskaplig artikel [3]. I artikeln visas också hur förhållandet mellan luftflöde och vätskeflöde, liksom glykolhalt och utformning av värmeväxlarna, påverkar verkningsgraden.

### 3.2 Fältmätningar

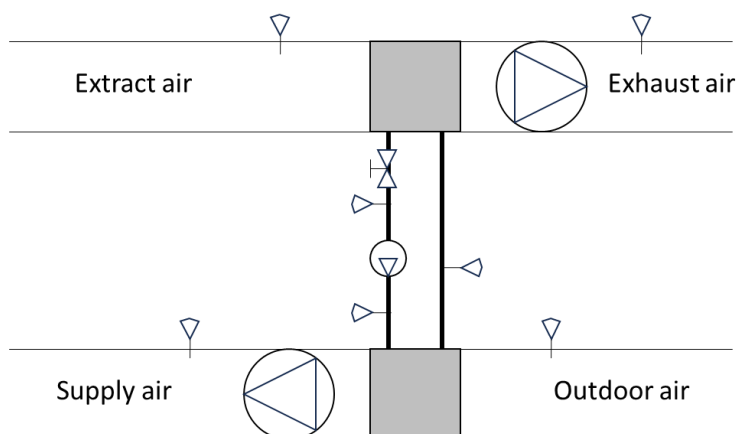
Resultaten från fältmätningarna liknade undersökningar som genomförts tidigare. Som exempel undersökte Byggnadsstyrelsen tre vätskekopplade värmeåtervinningssystem redan 1986. Alla visade lägre temperaturverkningsgrad än förväntat, vilket berodde på felaktiga flöden, läckande ventiler och försmutsade lameller i värmeväxlarna. Å ena sidan borde situationen vara bättre idag, å andra sidan är dagens system mer känsliga för denna typ av brister. Detta gäller generellt för system som dimensionerats för hög temperaturverkningsgrad och speciellt i byggnader med variabla ventilationsflöden.

Sammantaget visade detaljerade utvärderingar av två befintliga anläggningar (Arkaden, Regionens Hus) ett antal orsaker till att verkningsgraden inte är den förväntade. Men funktionen hos vätskekretsen får betraktas som ett överordnat problem. Fältmätningarna i de två anläggningarna dokumenterades i en intern projektrapport [4].

Anläggningarna är till exempel dimensionerade för högre luftflöden än de dominerande flödena i normal drift. Dessutom har de olika till- och frånluftflöden, som dessutom varierar, vilket gör det svårt att upprätthålla en hög verkningsgrad. Anläggningarna uppvisar problem med vätskekretsen, dels hade de andra vätskeflöden än de optimala, dels fungerar inte ventiler i praktiken som det är tänkt, vilket försvårar möjligheterna att använda det vätskeflöde som ger högst verkningsgrad med givna förutsättningar.

### 3.3 Labbmätningar

Labbaggregatet instrumenterades med fokus på att i detalj kunna studera hur luft- och vätskeflöde påverkar temperaturverkningsgraden. En förenklad skiss av labbaggregatet visas nedan. Mätningarna genomfördes med vatten i vätskekretsen och kompletterades med modellberäkningar för att studera inverkan av glykolhalten.



Förenklad skiss av labbaggregatet med temperaturgivare

Resultatet från mätningarna användes för att validera och vidareutveckla den simuleringsmodell som tagits fram tidigare i projektet. Uppmätt och simulerad temperaturverkningsgrad, som funktion av luft- och vätskeflöde, visas i diagrammet nedan.

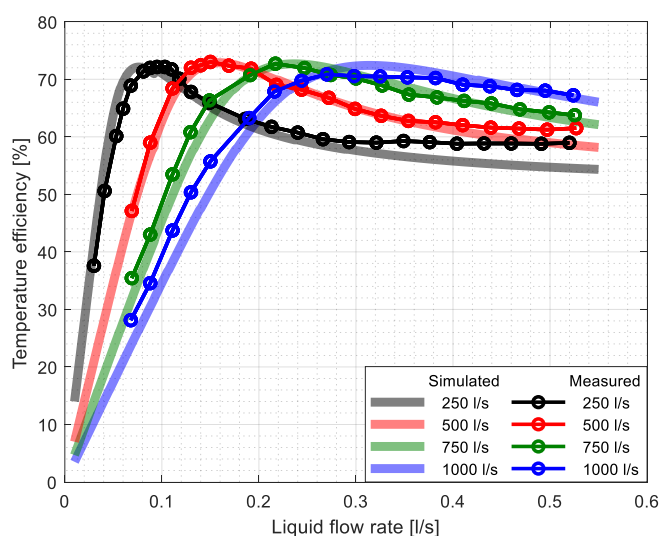


Diagram som visar hur luft- och vätskeflöde påverkar temperaturverkningsgraden i labbaggregatet.



Den validerade modellen användes därefter för att visa 1) Vilket vätskeflöde som ger högst temperaturverkningsgrad, 2) Hur mycket högre denna temperaturverkningsgrad är jämfört med den som erhålls om vätskans värmekapacitetsflöde är samma som luftens (vilket traditionellt är ett vanligt önskvärt flöde), 3) Hur resultatet påverkas av vätskans glykolhalt och 4) Hur stort fel det blir om glykolhalten skiljer från vad det konventionella styrsystemet är inställt på.

Det sistnämnda handlar om att konventionella styrsystem uppskattar vätskeflödet genom att mäta ett tryckfall. Denna uppskattning förutsätter bland annat att vätskans termofysikaliska egenskaper är väl kända. Förutom att egenskaperna påverkas av ålder, försmutsning, syrehalt och temperatur så förekommer i verkligheten att glykolhalten (eller t.o.m. sorten) inte överensstämmer med inställt värde.



Bild på labbaggregatet i avdelningens försökshall.

I samband med detta prövades en alternativ styrprincip. Den alternativa principen bygger på att mäta temperaturer i stället för tryckfall och är därmed oberoende av vätskans egenskaper. Systemet blir därmed mer robust och förhoppningen är att det ska ge möjligheter att förbättra funktionen hos vätskekopplade värmeåtervinningssystem på ett väsentligt sätt. Principen, som varit föremål för en patentansökan hos FläktGroup AB, beskrivs mer i en vetenskaplig artikel [5].



## 4 Diskussion

Projektets syfte var dels att kontrollera, åtgärda och följa upp befintliga system, dels att testa, utveckla och utvärdera olika sätt att öka prestandan i nya system. Genomförandet var tänkt som en kombination av studier i form av fältmätningar, teoretiska beräkningar och praktiska försök i laboratorium samt implementering i pilotprojekt. Projektet skulle dels generera väl underbyggda rutiner för driftoptimering, dels identifiera med dagens teknik kostnadsoptimal temperaturverkningsgrad samt hur mycket den kan höjas med hjälp av ej ännu konventionell teknik, i olika arbetspaket. Det förväntades också att projektresultaten skulle kunna bli ett värdefullt underlag för framtida revideringar av ekodesigndirektivet.

Projektet började, som beskrivs ovan, med att ganska förutsättningslöst diskutera olika möjliga förbättringsåtgärder, liksom dimensionering och driftuppföljning, men snävade sedan in på utformningen av vätskekretsen och styrning av vätskeflödet.

Med olika till- och frånluftsflöden, och dessutom varierande luftflöden, får styrningen av vätskeflödet en avgörande betydelse för att kunna upprätthålla en hög temperaturverkningsgrad. Vi har också kunnat konstatera att styrning som bygger på mätning av vätskeflöde, oftast baserad på tryckfall (över en värmeväxlare eller en mätfläns) förutsätter att vätskans egenskaper är väl kända, vilket sällan är fallet i verkligheten.

Vi kan då konstatera att den inledande ambitionen att ta fram rutiner för driftoptimering, identifiera med dagens teknik kostnadsoptimal temperaturverkningsgrad och implementera och testa förbättringsåtgärder inte har genomförts. Däremot har en ny metod för att styra vätskeflödet utvecklats och ett nytt projekt, för att implementera och testa densamma, har initierats tillsammans med de tidigare projektdeltagarna kompletterat med Akademiska Hus.

När det gäller ekodesigndirektivet så uppfyller både FläktGroups labbaggregat som användes vid den initiala valideringen av den framtagna teoretiska modellen som det labbaggregat som installerats i vårt labb och som användes för att utveckla den nya metoden, ekodesigndirektivet vid dimensionerande förhållande. Då förutsättningarna för att den höga verkningsgraden som krävs i ekodesigndirektivet ska kunna upprätthållas vid andra förhållande än de dimensionerande är att vätskeflödet styrs på rätt sätt. Då grundproblemet i de utvärderade anläggningarna visade sig vara styrningen av vätskeflödet valde vi att fokusera på det istället för att utvärdera ekodesigndirektivet.



## 5 Publikationslista

- [3] Mahmoud, M., P. Filipsson, S. Brunninge, J-O. Dalenbäck, 2022. "**Flow rate optimization in run-around heat recovery systems**", Publicerad i Applied Thermal Engineering.
- [4] Mahmoud, M. 2021. **Fältmätningar VKVÅ**. Intern projektrapport.
- [5] Filipsson, P. et al. 2023. "**Liquid flow rate control in run-around heat recovery systems**". Inskickad för publicering i Applied Thermal Engineering.



## 6 Referenser

- [1] Filipsson, P. och L. Ekberg, **Vätskekopplad värmeåtervinning**. Förstudie, Belok 2018.
- [2] **Vätskekopplad värmeåtervinning**. Projekt 47830-1, Beslut daterat 2019-02-18. Energimyndigheten.



*Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.*

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.  
Läs mer på [www.E2B2.se](http://www.E2B2.se).*

