

BELOK

Energimyndighetens nätverk
för energieffektiva lokaler

VÄTSKEKOPPLAD VÄRMEÅTERVINNING

ERFARENHETER BLAND ANVÄNDARE SAMT
TESTER AV EN NY REGLERSTRATEGI FÖR
HÖGRE TEMPERATURVERKNINGSGRAD

Version 1.0

2026-03-05



UTFÖRT AV

Maria Jangsten
CIT Renergy

Daniel Olsson
CIT Renergy

GRANSKAT AV

Per-Erik Nilsson
Jan-Olof Dalenbäck
CIT Renergy

info@belok.se

ENERGIMYNDIGHETENS NÄTVERK FÖR ENERGIEFFEKTIVA LOKALER

Belok är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på lokalfastigheter. Belok initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning mot energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system, produkter och metoder tidigare skall komma ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

MEDLEMSFÖRETAG

ALECTA FASTIGHETER	ICA FASTIGHETER
AMF FASTIGHETER	JERNHUSEN
AKADEMISKA HUS	LOCUM
ATRIUM LJUNGBERG	LUNDBERGS FASTIGHETER
CASTELLUM	MALMÖ STAD SERVICEFÖRVALTNINGEN
COREM PROPERTY GROUP	PLATZER FASTIGHETER AB
FABEGE	SAFJÄLLET FASTIGHETER
FASTIGHETS AB BALDER	SKANDIA FASTIGHETER
FASTIGHETS AB STENVALVET	SKOLFASTIGHETER I STOCKHOLM (SISAB)
FASTIGHETSKONTORET I STOCKHOLMS STAD	SPECIALFASTIGHETER
FORTIFIKATIONSVERKET	STATENS FASTIGHETSVERK
GRANITOR	SVEDAB
GÖTEBORGS STAD –	SWEDAVIA
STADSFASTIGHETSFÖRVALTNINGEN	VASAKRONAN
HUDDINGE SAMHÄLLSFÄSTIGHETER	VÄSTRA GÖTALANDSREGIONEN
HUFVUDSTADEN	WIHLBORGS
HUMLEGÅRDEN FASTIGHETER	

TILL GRUPPEN ÄR ÄVEN KNUTNA

ENERGIMYNDIGHETEN
BYGGHERRARNA
FASTIGHETSÄGARNAS SVERIGE
SVERIGES KOMMUNER OCH REGIONER (SKR)
CIT RENERGY

CIT Renergy är ett konsultföretag med kompetens inom områdena byggd miljö, samhälle, industri samt inomhusmiljö med fokus på energi- och resurseffektivitet. De har fått i uppdrag av Energimyndigheten (via ramavtal) att leverera förstudier och utredningar inom verksamhetsområdet lokalfastigheter. Förstudierna och utredningarna genomförs internt eller av extern part och undersöker vilka områden inom energieffektiva lokaler som är intressanta att utveckla och vilka fördjupade utredningar och analyser som kan behövas.

Alla frågor kopplat till denna rapport hänvisas till CIT Renergy AB:
citrenergy@chalmersindustrietechnik.se. Alla förstudierapporter görs tillgängliga via belok.se.



SAMMANFATTNING

Vätskekopplad värmeåtervinning (VKVÅ) är en värmeåtervinningsteknik i ventilationsaggregat som används där krav på ren tilluft, luktfrihet och smittskydd är höga. Dock har VKVÅ-system ofta betydligt lägre temperaturverkningsgrad än andra lösningar som roterande värmeväxlare. Trots att EU:s Ecodesigndirektiv idag kräver minst 68 % temperaturverkningsgrad visar erfarenhet att många befintliga VKVÅ-system endast levererar ca 30–50 %. Genom forskning genomförd på Chalmers påvisades att felaktiga vätskeflöden är den vanligaste orsaken till låg verkningsgrad. Detta ledde till ett förslag på en ny styrstrategi baserad på att hålla samma temperaturdifferenser mellan vätska och tilluft, som förenklar regleringen och minskar behovet av detaljerad kunskap om vätskans termofysikaliska egenskaper.

Som del av denna förstudie har erfarenheter från fastighetsägare samlats in genom intervjuer och en enkät. Flera fastighetsägare uttrycker att de övertagit VKVÅ-system vid fastighetsförvärv och inte genom ett aktivt val, och upplever dem som komplexa och underpresterande, vilket lett till att många idag fasar ut och planerar att fasa ut dem. Samtidigt anger flera att de gärna behåller VKVÅ om ett enkelt sätt att säkerställa dimensionerad verkningsgrad finns, särskilt med hänsyn till smittskydd och utrymmesförutsättningar. Generellt råder osäkerhet kring mätvärden, temperaturgivares placering, vätskans kvalitet och pumpens reglerförmåga som orsaker till låga verkningsgrader.

Den nya temperaturstyrningen har verifierats i labbmiljö med goda resultat och implementerats i tre olika anläggningar hos Chalmersfastigheter, Vasakronan och AMF Fastigheter. I labbmiljö uppnåddes stabil reglering och verkningsgrader motsvarande reglering med en flödesbaserad styrstrategi, men med betydligt enklare implementation. Vid obalanserade luftflöden upp till 20 % sågs ingen mätbar fördel av den mer komplexa beräkningsformeln för temperaturkvoten, jämfört med den enklare beräkningsformeln.

I de praktiska tillämpningarna varierade resultaten beroende på anläggningens skick och förutsättningar. I anläggning ett gav temperaturstyrningen endast marginell förbättring eftersom värmeväxlaren var kraftigt korroderad och pumpen underdimensionerad. I anläggning två, där extern värme tillförs i värmeåtervinningskretsen, höjdes verkningsgraden från ca 45 % till ca 79 % och behovet av extern värme minskade kraftigt. Anläggning tre var en ombyggnation i vilken stabil drift och höga verkningsgrader kunde uppnås. Gemensamt visar testerna att styrstrategin fungerar mycket väl när batterier är i gott skick, pumpar i rätt storlek och styrsystemet medger korrekt implementation.

Projektet visar att det finns en energieffektiviseringspotential i befintliga VKVÅ-system genom optimering av vätskeflödet, men att tillräckligt höga dimensionerade verkningsgrader för batterierna är en förutsättning. Temperaturstyrningen erbjuder en robust, enkel och kostnadseffektiv metod för att uppnå högre verkningsgrad, och kan därmed göra det möjligt att behålla VKVÅ-tekniken i större utsträckning än idag, med både energimässiga och miljömässiga vinster som följd.



INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Innehåll 5	
1. Bakgrund och Introduktion.....	6
1.1 Bakgrund och tidigare studier	6
1.1.1 Teori om reglering av flöde i vätskekretsen.....	7
1.2 Syfte	8
1.3 Uppdragets moment i korthet	9
2. Erfarenheter.....	10
2.1 Intervjustudie med fastighetsägare.....	10
2.2 Enkätstudie med fastighetsägare	11
3. Erfarenheter från test av styrstrategin	13
3.1 Erfarenheter från test i labbmiljö i parallellt examensarbete	13
3.2 Erfarenheter från test i praktiska tillämpningar	15
3.3 Utvärdering av tester.....	17
3.3.1 Testanläggning 1 – Chalmersfastigheter.....	17
3.3.2 Testanläggning 2 – Vasakronan	21
3.3.3 Testanläggning 3 – AMF Fastigheter	26
3.3.4 Reflektioner i samband med implementering av styrstrategin	29
4. Slutsatser.....	29
Bilaga 1 – Typdrifkort för VAV temperaturreglering.....	31
Bilaga 2 – Enkät	32



1. BAKGRUND OCH INTRODUKTION

Vätskekopplad värmeåtervinning (VKVÅ) har flera stora fördelar. Framst brukar det framhållas att de är läckagefria, utan risk för kontaminering mellan frånluft och tilluft, vilket annars exempelvis kan förekomma i roterande värmeväxlare. Detta är värdefullt där man har förorenad frånluft och/eller höga krav på tilluftens renhet. Det är även en utrymmeseffektiv och flexibel teknik som kan användas för att återvinna värme från olika värmekällor (frånluft, serverhallar, kylmaskiner, storkök etc.), till olika värmebehov (t.ex. tilluft). En nackdel är dock att temperaturverkningsgraden i normalfallet är låg. Detta trots att det sedan drygt 5 år ställs krav enligt EU:s Ecodesign direktiv att verkningsgraden som minst ska vara 68% för VKVÅ-system¹. Dessutom har det visat sig att VKVÅV-system ofta fungerar sämre i praktiken än tänkt, vilket särskilt gäller vid behovsstyrda ventilationsluftflöden (DCV) som ju blivit en standardlösning i många lokalbyggnader.

1.1 Bakgrund och tidigare studier

År 2018 initierade Vasakronan en Belok-förstudie² med anledning av att flera av nätverkets medlemmar uppgav att deras VKVÅ-system underpresterade energimässigt. Förstudien ledde fram till ett forskningsprojekt³ som analyserade problematiken och fastställde att felaktiga vätskeflöden är en starkt bidragande faktor, varpå en ny och mer robust styrstrategi togs fram.

Eftersom vätskekopplade värmeåtervinnare är vanligt förekommande har forskningsprojektet rönt ett stort intresse hos flera fastighetsägare, inkl. Belok-medlemmar. Uppfattningen är att det finns betydande behov, potential och intresse för förbättring. Exempelvis konstaterades i förstudien att Vasakronan skulle spara en halv gigawattimme per år för varje procentenhet de lyckas öka den genomsnittliga verkningsgraden i sina system. Eftersom det finns ett stort antal VKVÅV-anläggningar installerade i lokalfastigheter idag, finns där även en rejäl energibesparingspotential. Från ett nationellt perspektiv kan den grovt bedömas att uppgå till åtminstone 90 GWh/år förutsatt att verkningsgraden höjs 10 %-enheter i Sveriges lokalfastigheter med vätskekopplad värmeåtervinning.

Idag ersätts VKVÅV ofta med t.ex. roterande värmeåtervinning för att spara energi. Ur miljösynpunkt vore det en stor vinst att istället förbättra befintliga anläggningar där så är möjligt.

Den nya styrstrategin har nyligen verifierats i ett konventionellt VKVÅ-aggregat i labbmiljö i ett examensarbete⁴ på Chalmers. Resultaten var mycket goda och visade sig stämma med teorin i det föregående forskningsprojektet.

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253>

² <https://belok.se/forstudie-vatskekopplad-varmeatervinning/>

³ DOI 10.1080/23744731.2025.2538372

⁴ <https://odr.chalmers.se/items/4f55471d-3063-4270-916e-5c236ba29da1>



1.1.1 Teori om reglering av flöde i vätskekretsen

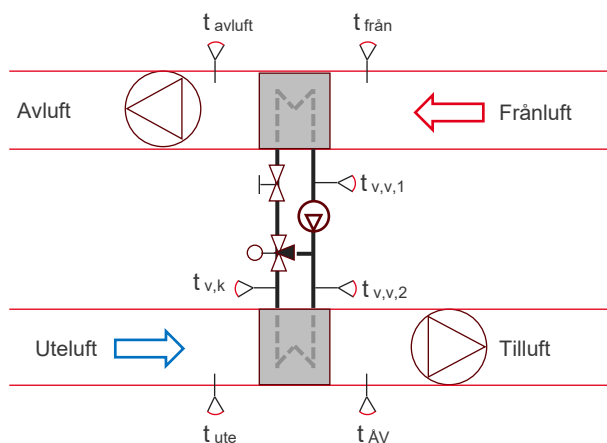
För djupare kunskaper om temperaturverkningsgrader i VKVÅ-system hänvisas till nämnda arbeten på Chalmers. Här konstateras bara att en traditionell styrstrategi för att erhålla en hög temperaturverkningsgrad är att ha lika värmekapacitetsflöden för vätskan och luften (vanligtvis tilluften). Detta får man genom att X_v i Ekvation 1 är lika med 1.

$$\text{Ekv 1) } X_v = \frac{q_l \cdot \rho_l \cdot c_{p,l}}{q_v \cdot \rho_v \cdot c_{p,v}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

q_l	luftflöde	$[\text{m}^3/\text{s}]$
ρ_l	luftens densitet	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$c_{p,l}$	luftens specifika värmekapacitet	$[\text{J}/(\text{kgK})]$
q_v	vätskeflöde	$[\text{m}^3/\text{s}]$
ρ_v	vätskans densitet	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$c_{p,v}$	vätskans specifika värmekapacitet	$[\text{J}/(\text{kgK})]$

Vätskan är en blandning av vatten och glykol och för att styra enligt Ekvation 1, krävs bl.a. kunskaper om vätskans termofysikaliska egenskaper, vilka förändras med tiden. Så länge värmeväxlaren dimensionerats för en låg temperaturverkningsgrad på t.ex. 50 % (vilket i stort sett varit praxis tills för några år sedan) är dock vätskeflödet i praktiken inte särskilt kritiskt. I alla fall inte om luftflödet är konstant och på en hög nivå. Så länge vätskeflödet är någorlunda rimligt blir temperaturverkningsgraden den avsedda. Men ju högre temperaturverkningsgrad värmeväxlaren dimensionerats för, desto viktigare är vätskeflödet. Särskilt i system med behovsstyrda luftflöden, där det optimala vätskeflödesintervallet kan vara mycket snävt vid låga luftflöden. Vätskeflöden utanför intervallet ger avsevärt sämre temperaturverkningsgrad. Det krävs således att vätskeflödet kontinuerligt mäts korrekt, vilket åtminstone fram tills nyligen visat sig svårt. (Numera finns ultraljudsmätare med hög precision.)

Reglering blir dock enkel om den i stället baseras på temperaturmätningar enligt nämnda princip från Chalmers. I Figur 1 visas en principskiss över en vätskekopplad värmeåtervinnare, där erforderliga temperatursensorer ritats in.



Figur 1 Schematisk bild över vätskekopplad värmeåtervinning. Förtydligande: $t_{v,v}$ utläses vätsketemperatur, varm. På motsvarande vis utläses $t_{v,k}$ vätsketemperatur, kall.

En fristående vätskekopplad värmeåtervinnare som i Figur 1 har normalt sett även en luftvärmare på tilluftsidan efter värmeåtervinnaren. Många gånger även en luftkylare. I annat fall kopplas inte sällan värme och kyla in på vätskekretsen, vilket regleras med en extern enhet.

I den nya reglerstrategin regleras vätskeflödet med avseende på kvoten i ekvation 2, i stället för som tidigare ekvation 1.

$$\text{Ekv. 2)} \quad x_{t,1} = \frac{t_{\text{AV}} - t_{\text{ute}}}{t_{v,v,2} - t_{v,k}}$$

När luftflödets temperaturökning över växlarens tilluftsdelen är lika stor som vätskans temperaturtapp över densamma motsvaras detta av kvoten $X_{t,1} = 1,0$. Ekvation 2 gäller om luftflödena är lika stora, dvs. vid balanserade till- och frånluftsflöden.

Pumpar med variabelt vätskeflöde kan relativt enkelt förmås reglera enligt ekvation 2, där alltså vätskeflödet optimerats utan uppgifter om vare sig vätskans egenskaper eller det faktiska vätskeflödet.

Vid obalanserade till- och frånluftsflöden behöver lufttemperaturerna före och efter batterierna i både till- och frånluften mätas. Då har följande ekvation (Ekv. 3) föreslagits där $X_{t,2}$ representerar det genomsnittliga förhållande mellan de två batterierna:

$$\text{Ekv. 3)} \quad x_{t,2} = \frac{t_{\text{från}} - t_{\text{avluft}} + t_{\text{AV}} - t_{\text{ute}}}{t_{v,v,1} + t_{v,v,2} - 2 \cdot t_{v,k}}$$

Temperaturverkningsgraden beräknas för tilluften enligt Ekvation 4:

$$\text{Ekv. 4)} \quad \eta_{V\text{AV}} = \frac{t_{\text{från}} - t_{\text{ute}}}{t_{\text{ute}} - t_{\text{AV}}}$$

1.2 Syfte

Denna förstudie syftar till att sammanställa erfarenheter från bl.a. Beloks medlemmar kring vätskekopplad värmeåtervinning och undersöka hur den nya styrstrategin, kan tillämpas i praktiken. Förstudien syftar även till att testa och kvantifiera inverkan av den nya styrstrategin på ett antal aggregat i olika lokalbyggnader. På detta sätt knyter förstudien samman den senaste forskningen inom området med dess praktiska tillämpning genom att identifiera vilka anpassningar och insatser som krävs för att forskningsresultaten ska kunna omsättas i praktiken.

Genom att samla kunskap och underlag kring möjligheter att öka energieffektiviteten i befintliga VKVÅ-system förväntas förstudien bidra till minskad energianvändning och minskat behov av materialuttag. Förhoppningsvis kan den även stärka argumenten för fortsatt användning av en smitt- och föroreningssäker ventilationsteknik där så önskas.



1.3 Uppdragets moment i korthet

Förstudien innehåller följande moment:

1. INTERVJUER. Med personer som i olika roller hanterar VKVÅ-system. Syftet var att få en bild av deras erfarenheter, rutiner, ställningstaganden, syn på framtiden, etc. Intervjuerna syftade även till att utgöra underlag för efterföljande enkätstudie samt att identifiera VKVÅ-anläggningar för tester.
2. ENKÄT. För att få en samlad bild av erfarenheter och rutiner i ämnet framställdes en enkät som skickades ut inom Belok och till andra kontakter.
3. IDENTIFIERING AV TESTANLÄGGNINGAR. Intervjuerna och andra kontakter resulterade i en mängd intervjuliknande digitala träffar och ett antal platsbesök i syfte att identifiera lämpliga anläggningar för tester. Renodlade/fristående VKVÅ-anläggningar med någorlunda hög temperaturverkningsgrad eftersöktes. Anläggningarna skulle vara utrustade med (eller då utrustas med) erforderliga temperaturgivare samt frekvensstyrda pumpar för variabelt vätskeflöde.
4. INSTALLATION. Inledningsvis var avsikten att analysera VKVÅ-anläggningar som redan var utrustade med den nya reglerstrategin. Men eftersom inga sådana anläggningar kunde identifieras behövde uppdraget delvis omformuleras. I stället kompletterades befintliga VKVÅ-anläggningar med erforderlig teknik, i form av temperatursensorer och frekvensstyrd pump. Vid ett fall identifierades en anläggning som var under ombyggnad där temperaturstyrningen skulle installeras.
5. INSAMLING OCH ANALYS AV MÄTDATA. Efter att den erforderliga tekniken installerats samlades mätdata in och analyserades för perioder med befintlig vätskereglering, och perioder med ny vätskereglering.
6. RAPPORT OCH RESULTATSPRIDNING. Framtagning av föreliggande rapport och spridning av resultaten till fastighetsägare via presentation på Beloks medlemsmöte och via Beloks hemsida.



2. ERFARENHETER

Eftersom VKVÅ omfattar värmeväxling i två separata batterier har tekniken en lägre temperaturverkningsgrad än motsvarande roterande värmeväxlare eller plattvärmväxlare. Därom råder sannolikt samsyn. Men vilka är de praktiska erfarenheterna bland de förvaltare som har VKVÅ, och hur ser de på teknikens framtid i deras bestånd?

För att undersöka detta, och mer, genomfördes dels en intervjustudie med några av Beloks medlemmar, dels en enkätstudie med lite bredare spridning. I det följande redogörs för vad som där framkom.

2.1 Intervjustudie med fastighetsägare

Sammanlagt intervjuades nio personer som representerade fem olika fastighetsägare. Erfarenheterna och åsikterna om VKVÅ skilde sig åt mellan de som intervjuades. Några av dem förvaltade ett stort antal VKVÅ-anläggningar, andra endast ett fåtal. Floran av yrkestitlar omfattade teknikchefer, energistrateger, fastighetsingenjörer, driftansvariga, tekniska förvaltare och teknikspecialister. Sammanställningen nedan är ett försök att ringa in det viktigaste av vad som framkom vid samtalen med dessa personer.

Flertalet av de intervjuade konstaterade att de fått VKVÅ-anläggningarna ”i knäet” i samband med fastighetsförvärv, och det inte var något de själva valt. Den grundläggande inställningen hos majoriteten var att man, om möjligt, avsåg byta till roterande- eller plattvärmväxlare när VKVÅ-anläggningarna uppnått sin tekniska eller ekonomiska livslängd. Den avoga inställningen kunde främst kopplas till låga temperaturverkningsgrader. Men till delar kan det nog även bero på att många av VKVÅ-anläggningarna var tämligen komplexa, där värmeåtervinningskretsen även används för att värma eller kyla tilluften genom att värmväxlare för värme respektive kyla kopplats in i vätskekretsen. I de fallen regleras vätskeflöde, temperatur och tillförsel av värme/kyla av externa system, vilket enligt några av de intervjuade resulterat i låg temperaturverkningsgrad. Här finns sannolikt en viss inläsningseffekt som är kostsam att konvertera sig ifrån. Dessutom kan byte av lösning eventuellt kräva större utrymmen, vilket i så fall ytterligare försvårar konvertering.

De aktuella VKVÅ-anläggningarna var främst av konstatflödestyp (CAV), men det fanns även VKVÅ anläggningar med variabla och behovsstyrda flöden (VAV, DVC). Oavsett detta uppgav de flesta att vätskepumparna hade konstanta varvtal, möjligtvis bortsett från ett antal fasta steg för t.ex. hög-, mellan- och lågflöden. Vidare uppgav flera att vätskans glykolhalt och ålder ofta var okänd, vilket även gäller dess luftinnehåll och behov av avgasning. De som undersökt vätskorna kunde ofta konstatera att den hade en för hög glykolhalt. Vidare menade en av de intervjuade att tryckgivare och ventiler ibland täpps till, vilket sätter regleringen ur spel.

Ett återkommande huvudbry var tilliten till uppmätta värden. Man kände sig osäker på mätsensorernas status och placering. Bland dem som trots allt hade varvtalsstyrda pumpar fanns bryderier om trycksensorernas tillförlitlighet. För de flesta intervjuade var det heller inte



klarat om deras ventilationssystem hade balanserade luftflöden eller ej, och knappt någon kände till vilken temperaturverkningsgrad batterierna dimensionerats för. Man visste bara att övervakningsprogrammen visade verkningsgrader på 40 – 60 %, där genomsnittet bland de tillfrågade nog låg strax under 50 %. En av förvaltarna utmärkte sig dock genom att nyligen ha kartlagt sina system. Den förvaltaren uppgav att de i regel fick de temperaturverkningsgrader de beställt. De menade också att de testat värmeåtervinningsbatterier med olika storlekar och kommit fram till att 14 rörrader i växlaren var lämplig avseende tryckfall och prestanda och att det ungefär motsvarar temperaturverkningsgrader på 70 - 75 %.

Det fanns även andra förvaltare som testat olika optimeringsåtgärder för att öka temperaturverkningsgraden, inklusive ändrade varvtal på pumpen och fler rörrader i vätskekretsen osv. Dock utan framgång eller tydliga förändringar.

Mer övergripande framkom att det eviga dilemmat om svaga incitament för energinvesteringar då hyresgästen betalar för energin, även gäller här. Då kan bara förvaltarens egna styrdokument motivera större omläggningar, såsom konvertering till roterande värmeväxling. I ljuset av det framstår den nya reglerstrategin som en möjlig väg framåt i energiarbetet eftersom kostnaderna för dess implementering är blygsamma i sammanhanget.

Slutligen konstateras att alla tillfrågade ställde sig positiva till att det nu finns en ny reglerstrategi baserad på enkla temperaturmätningar. Många erbjöd vid sittande bord att arrangera tester med den nya strategin i någon av sina anläggningar. Av det som framgånit ovan kunde i den andra vågskålen dock fastslås att nästan samtliga hade osäkerheter kring hur det förhöll sig med det egna beståndets beskaffenhet avseende t.ex. faktisk temperaturverkningsgrad, mätpunkter, pumparnas reglerförmåga och inte minst vilken temperaturverkningsgrad systemen dimensionerats för. För att gå vidare med tester i lämpliga anläggningar krävdes såldes först kompletterande kartläggning och installationer, m.m., vilket redogörs för i Avsnitt 3.

2.2 Enkätstudie med fastighetsägare

Baserat på intervjuerna togs en enkät fram för att komplettera bilden. Den skickades till medlemmar i nätverken Belok och PTS (Program för Teknisk Standard – förvaltare av vårdlokaler). Därutöver kontaktades även ett antal enskilda personer. Sammanlagt nådde enkäten minst 30 – 40 personer, vilket gav åtta svar. Den relativt svaga responsen kan eventuellt återspegla intrycket från några av intervjuerna, nämligen att VKVÅ-system ofta är komplexa och därmed svåra att redogöra för.

I bilaga 2 återfinns enkätens innehåll och svar, men sammanställs även här.

De som svarat på enkäten förvaltar främst välfärdsrelaterade byggnader. Deras fastighetsbestånd var naturligtvis olika stora, med varierande andel VKVÅ. Från mindre än 25 % till mer än 75 % angavs. Aggregaten försörjde en palett av verksamheter där



restauranger, skolkök och skolor, kontor, sjukhus, köpcenter och tillverkningsindustri nämndes.

En av de svarande uppgav att VKVÅ-aggregaten funnits där sedan innan, men för övriga svarande hade de installerats på uppdrag av den egna organisationen. Detta skiljer sig alltså från intervjustudien i Avsnitt 2.1 där de i allmänhet uppgav sig ha fått anläggningarna i samband med övertagande av fastighet. Skillnaden återspeglar förmodligen vilka som svarade. Trots detta uppgav sju av åtta att de nu fasar ut VKVÅ där så är möjligt, till förmån för korsströms eller roterande värmeåtervinnare för att få högre temperaturverkningsgrad. Två svar nämnde att VKVÅ inte är något som installeras idag i nya aggregat. Samtidigt menade ungefär hälften att de kunde tänka sig att hålla kvar vid VKVÅ även framöver om det fanns ett enkelt sätt att säkerställa dimensionerad temperaturverkningsgrad. Motiveringen att behålla eller installera VKVÅ aggregat framöver var i första hand för att minska smittspridning och luktöverföring mellan från- och tilluft samt platsbrist.

Tyvärr saknade enkäten en fråga om hur stor andel av VKVÅ-aggregaten som har variabelt luftflöde (s.k. VAV eller DCV). Däremot tillfrågades de om hur luftflödena generellt regleras i deras VKVÅ-aggregat med variabla luftflöden. Svaret blev att det portioneras i relation till CO₂ och temperatur i rum.

I likhet med intervjustudien visade enkätsvaren att det är vanligt med system där vätskekretsen i värmeväxlaren tillförs värme eller kyla och att vätskeflödet regleras av en extern installation.

En av frågorna handlade om obalanserade luftflöden. Alla svarade inte, men bland dem som gjorde det uppgavs att obalansen normalt sett underskrider 20 %, vilket något underlättar den temperaturbaserade regleringen (se Avsnitt 1.1.1). Dock svarade alla att vätskekretsarnas pumpar i dagsläget arbetar med konstanta flöden, vilket behöver ändras om den nya reglerstrategin skall implementeras. I dessa aspekter fanns ingen skillnad mellan svaren för de som angett sig ha aggregat med variabla luftflöden eller konstanta luftflöden.

Samtliga svarande uppgav att de kontinuerligt mäter aggregatens temperaturverkningsgrad, vilket gjordes på såväl tilluftsidan som frånluftsidan. Generella temperaturverkningsgrader i spannet 30 – 50 % angavs. Även om det vid intervjuerna och övriga kontakter var få som visste vilka temperaturverkningsgrader deras VKVÅ-aggregat projekterats för, uppgav en majoritet av de som besvarade enkäten att de hade lägre temperaturverkningsgrader än dimensionerat. Långa sträckor mellan till- och frånluft, dålig isolering, låg prioritering, felkopplingar, smutsiga växlare, dålig vätska, och otillräckliga kunskaper angavs som tänkbara orsaker. Alla utom en hade genomfört förbättringsåtgärder såsom rengöring av batteri, kontroll av vätske kvalitet, byte till nya batterier, ändrade styrparametrar, injustering samt omkoppling av felkopplade batterier. Åtgärderna tycks i någon mån ha förbättrat temperaturverkningsgraden, men inte alltid tydligt.



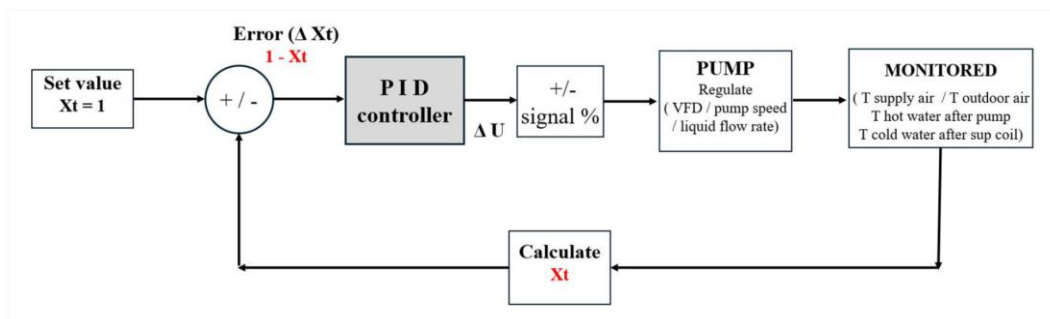
3. ERFARENHETER FRÅN TEST AV STYRSTRATEGIN

I detta kapitel redogörs för de erfarenheter som har erhållits under projektets gång, kopplat till att identifiera testanläggningar för den nya styrstrategin. Utöver detta har erfarenheter och ny kunskap tillförts genom det examensarbete som pågick parallellt med förstudien under våren 2025, i labbet hos Installationsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Den nya styrstrategin refereras härnäst till som *temperaturstyrningen* eller *temperaturstyrstrategin*.

3.1 Erfarenheter från test i labbmiljö i parallellt examensarbete

Syftet med examensarbetet var att testa och verifiera temperaturstyrningen, enligt Ekvation 2, i det vätskekopplade luftbehandlingsaggregatet i labbet genom att jämföra dess funktion med en mer traditionell flödesbaserad styrstrategi.

Den flödesbaserade styrstrategin reglerar vätskeflödet genom att balansera värmekapacitetsflödet för luften respektive vätskan. Detta kräver realtidskunskap om vätskans värmetekniska egenskaper, vilket kan bli utmanande vid dynamisk drift så som i behovsstyrda ventilationssystem där luftflödena varierar med behovet i fastigheten. Dessutom leder noggrann mätning av flöden och vätskans egenskaper till en hög grad av komplexitet, vilket kan bli begränsande i praktiken.



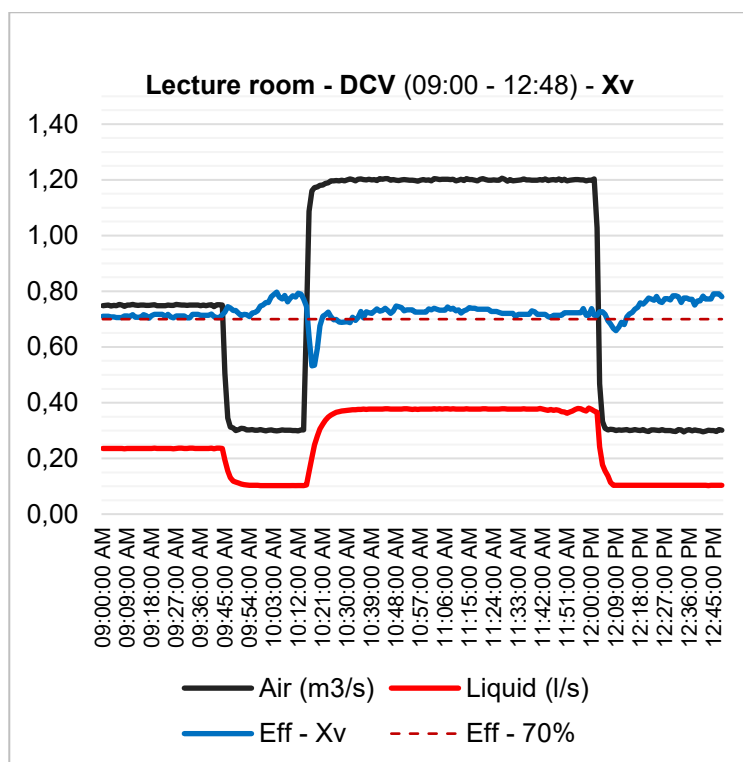
Figur 2 Kontrolldiagram av temperaturstyrningen med kvot X_t enligt Ekvation 2.

Temperaturstyrningen programmerades in i styrsystemet som hanteras via en webbaserad applikation. Reglerstrategin enligt Figur 2 innebär att om X_t överstiger börvärdet på 1,0 justerar regulatorn systemet för att minska vätskeflödet. Omvänt, om ärvärde för X_t understiger börvärdet, ökar regulatorn vätskeflödet.

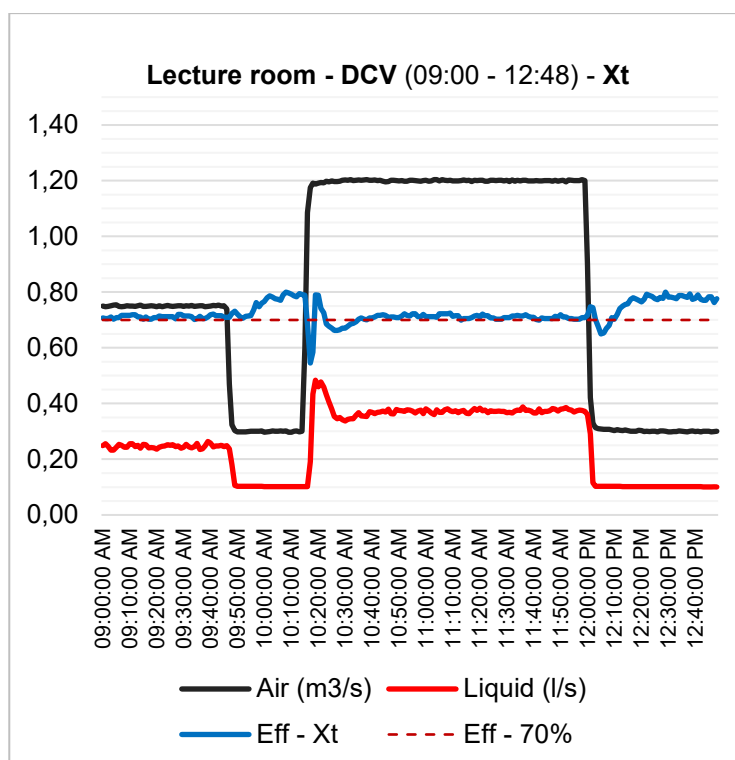
För testen inom studien varierades regulatorns PI-parametrar, då de var beroende av vald regleringsmetod och luftflöden. PI-värdena behövde ställas in manuellt för de olika testerna, där ett utgångsläge var P-värde 10 och I-värde 100 s. D sattes till 0 för samtliga test. Studien rekommenderar att ytterligare tester genomförs för att fastställa optimala PI-värden under ett bredare spektrum av förhållanden och luftflödeshastigheter. Detta skulle stödja utvecklingen av en automatisk inställningsmekanism i framtida tillämpningar, vilket gör det möjligt för systemet att välja lämpliga P- och I-värden autonomt i verkliga miljöer.



Testerna genomfördes under olika luftflöden, så som vid behovsstyrd ventilation, samt balanserade och obalanserade luftflöden. I Figur 3 kan resultatet från test med den traditionella styrstrategin (Xv) enligt Ekvation 1 ses. Vätskeflödet (röd linje) ändras relaterat till förändringar i luftflödet för att upprätthålla en hög temperaturverkningsgrad.



Figur 3 Test med DCV och den traditionella styrstrategin (Xv) enligt Ekvation 1.



Figur 4 Test med DCV och den nya styrstrategin Xt enligt Ekvation 2.

I Figur 4 kan resultaten från testet med den nya styrstrategin (Xt) ses. Även här ändras vätskeflödet utifrån förändringar i luftflödet för att bibehålla en hög temperaturverkningsgrad på ca 70 % eller något högre (blå linje), vilket motsvarade den dimensionerande temperaturverkningsgraden (röd streckad linje), precis som för den traditionella flödesbaserade styrstrategin. Den uppnår likvärdig prestanda som den flödesbaserade styrstrategin, men med enklare installation och lägre osäkerhet. Testerna visade också att den maximala verkningsgraden för tre olika luftflöden (1000 l/s, 750 l/s och 500 l/s) erhöles vid Xt-kvoter på 1,1–1,3, vilket är i linje med tidigare forskning.

Vid testerna med obalanserade luftflöden var det endast en marginell prestandaförlust. Vid upp till 20% obalans av till- och frånluftsflödena, jämfördes Ekvation 2, den enklare temperaturkvoten, med Ekvation 3, som är baserad på ett medelvärde av vätske- och lufttemperaturer. Jämförelserna visade att styra enligt den mer komplicerade Ekvationen 3 för obalans upp till 20%, inte ledde till en högre temperaturverkningsgrad än att styra enligt Ekvation 2.

3.2 Erfarenheter från test i praktiska tillämpningar

För momentet att identifiera anläggningar för test av styrstrategin tillämpades följande process:

- Kontakt med fastighetsägare via email med kriterier för testanläggning.
- Då fastighetsägaren identifierat anläggningar skickade de information om aggregatet samt driftbilder från styr- och övervakningssystemet. Utifrån denna information kunde lämpliga testanläggningar väljas ut.



- Därefter efterfrågades inloggning till styr- och övervakningssystemet för att undersöka om historik från senaste vinter kunde erhållas för att ta reda på vad verkningsgraden varit då.
- Vid behov genomfördes platsbesök för att ta reda på förutsättningar på plats, kontrollera fysisk placering av givare, typ av pump och andra förutsättningar.

Genom processen att identifiera anläggningar för test har följande erfarenheter och lärdomar framkommit:

System för vätskekopplad värmeåtervinning präglas ofta av brister i mätning, styrning och dokumentation. Ett återkommande problem är att det saknas givare på både vätske- och luftsidan, och att möjligheten att installera nya givare på lämpliga mätpunkter ofta är begränsad. Detta leder till osäkerhet i både uppföljning och drift, särskilt när luftflöden varierar utan tydlig förklaring, samt när fläktar och styrparametrar är äldre eller felaktigt inställda. Tilliten till befintliga mätvärden och givarnas placering är därför generellt låg.

Styrningen av systemen lyfts som en särskilt komplex fråga. I flera fall begränsas möjligheterna av låsta eller föråldrade styrsystem, där integration av modern temperaturstyrning inte är möjlig eller innebär stora kostnader. Kompetensbrist i hela kedjan från beställare till konsult, leverantörer och entreprenör, särskilt kring temperaturstyrning och optimering, försvårar implementeringen ytterligare.

Dokumentations- och historikfrågor är också centrala. I flera system finns endast historik tillgänglig en eller några få månader i styr- och övervakningssystemen, vilket försvårar analys av långsiktiga driftsmönster. Data om batteriernas egenskaper och dimensionerande verkningsgrader saknas ofta helt och kan vara svåra att få tag på från batteritillverkare, konsult som projekterat anläggningen eller entreprenör som installerat den, särskilt om anläggningen är äldre. Vid mindre ombyggnationer eller uppgraderingar återinstalleras ibland samma batteristorlek utan att först utreda om ett större batteri som kan ge högre verkningsgrad skulle kunna installeras. För att hantera detta skulle krav på dimensionerad verkningsgrad behöva införas i projekteringsanvisningarna, för att säkerställa att minst 68% verkningsgrad dimensioneras för enligt gällande EU-direktiv, även vid mindre ombyggnationer såsom enbart byte av ett batteri.

Slutligen framkommer att en framgångsrik implementering av optimerad styrning kräver god koordinering mellan flera discipliner och aktörer. Styrentreprenörens kompetens, systemens ålder och varierande PLC- och SCADA-lösningar påverkar möjligheten att genomföra förändringar. I vissa fall försvåras eller försenas arbetet av bristande tid hos entreprenörer, men även felkopplade batterier eller begränsningar i apparatskåp och hårdvara som först måste lokaliseras och anpassas eller åtgärdas, kräver både tid och pengar.

Sammantaget visar erfarenheterna att identifiera en lämplig anläggning för implementering av temperaturstyrningen är en komplex och resurskrävande uppgift. Om VKVÅ-batterierna i anläggningen endast är dimensionerade för en verkningsgrad på ca 50–55%, är optimering av temperaturverkningsgraden genom temperaturstyrningen inte den åtgärd som kan förväntas ge en ökning av verkningsgraden. Dock kan givetvis vätskeflödet vara inkorrekt för dessa system



med, varför en kontroll av temperaturkvoten genom att mäta de fyra temperaturerna enligt Ekvation 2 kan påvisa om vätskeflödet är för lågt eller ej. Om vätskeflödet inte är för lågt är det sannolikt andra anledningar som orsakar låg verkningsgrad, så som uttjänta eller felkopplade batterier, för liten vätskeflödespump eller problem med temperaturgivarna. Därutöver bör anläggningen helst ha variabla luftflöden för att temperaturstyrningen ska vara relevant (om den inte är dimensionerad för en verkningsgrad högre än ca 50–55%). Som minimum är någon form av luftflödesvariation att föredra, exempelvis genom utomhustemperaturkompensering, natt- eller helgsänkning, eller liknande funktioner som leder till att luftflödena inte är konstanta. Uppfyller anläggningen dessa krav behöver även följande uppfyllas för att kunna tillämpa styrstrategin i praktiken:

- Det behöver finnas temperaturgivare i vätskekretsen både före och efter återvinningsbatteriet i tilluften som är uppkopplade mot styr- och övervakningssystemet.
- Om det inte finns en temperaturgivare på tilluftsidan efter VÅ-batteriet behöver denna kompletteras med, och det måste finnas plats för den mellan VÅ-batteri och ett eventuellt efterföljande värmebatteri.
- Om den befintliga pumpen har konstanta varvtal behöver den kompletteras med frekvensstyrning om möjligt eller bytas ut.
- Temperaturstyrningen behöver programmeras i styr- och övervakningssystemet enligt Ekvation 2, där X_t -kvoten ska kunna vara ett inställbart värde. I bilaga 1 finns ett typdriftkort för detta.

3.3 Utvärdering av tester

Inom ramen för detta projekt har temperaturstyrstrategin implementerats och testats i tre anläggningar tillhörande tre olika fastighetsägare.

3.3.1 Testanläggning 1 – Chalmersfastigheter

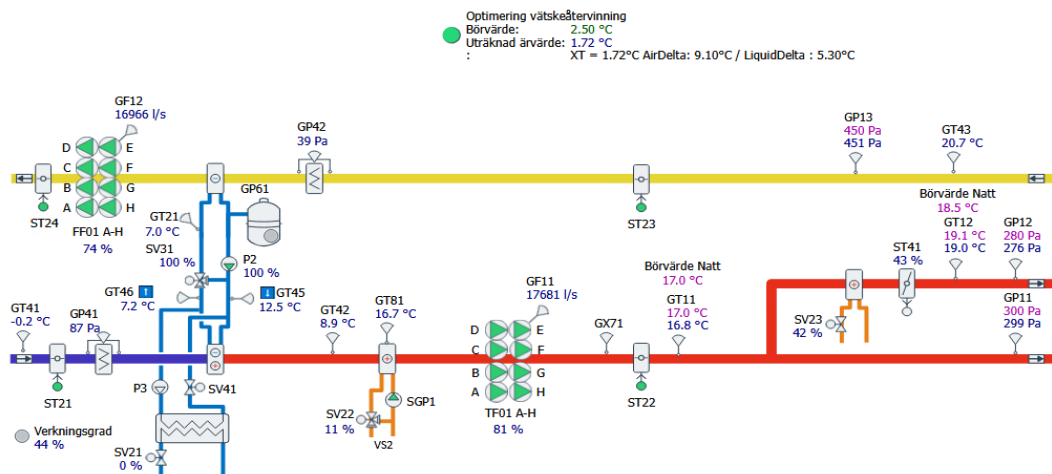
Chalmersfastigheter har ett antal vätskekopplade ventilationsanläggningar på Chalmers campus. I samråd med driftansvariga identifierades en av anläggningarna som särskilt lämplig eftersom den ansågs ha låg temperaturverkningsgrad i kombination med mycket höga luftflöden som på dagtid uppgår till ca 18 m³/s och på helger och nätter ligger runt ca 13 m³/s. Flödet är i stort sett balanserat (ca 4 % mer tilluft) och drivs av sju fläktar i vardera riktningen. Aggregatets till- och frånluftsidan sitter vertikalt ihop, men är ändå så stort att det delar rummet i två höjdplan.





Figur 5 Behovsstyrt VKVÅ-aggregat med kapacitet upp till 18 m³/s.

Systemet har en separat luftvärmare i tilluften, men luften kyls vid behov genom tillförsel av extern kyla i värmeåtervinningskretsen, vilket framgår av driftbilden i Figur 6.



Figur 6 Skärmbild från övervakningssystem.

Verksamhetens art kräver VKVÅ, vilket gjort att man inte bytt anläggningen till ett energieffektivare alternativ trots riktlinjer om kontinuerligt minskad energianvändning. Förhoppningar väcktes därför inför utsikten om ökad verkningsgrad genom temperaturstyrning. Ett känt problem med anläggningen är dock att uteluftssidans del av VKVÅ-batteriet är kraftigt nedslitet av långvarig exponering i fuktig och något salt luft. Även på sommaren är den delen av värmeåtervinningsbatteriet blött eftersom nämnda kylösning gör att kondensvatten faller ut på dess ytor. Vid besök på plats kunde konstateras att främst flänsarnas nederdel var helt eller delvis bortnötta. Övriga delar av den synliga flänsytan var porösa och vitaktiga, se Figur 7. En nyinstallation är planerad under 2026, men var vid tillfället inte aktuell att invänta. Orsaken till att batteriet inte bytts tidigare är verksamhetens



driftkrav (skyddsventilation) om endast ett kort servicestopp per år. Dessutom är batteriet svåråtkomligt för byte, vilket gör insatsen än mer omfattande.

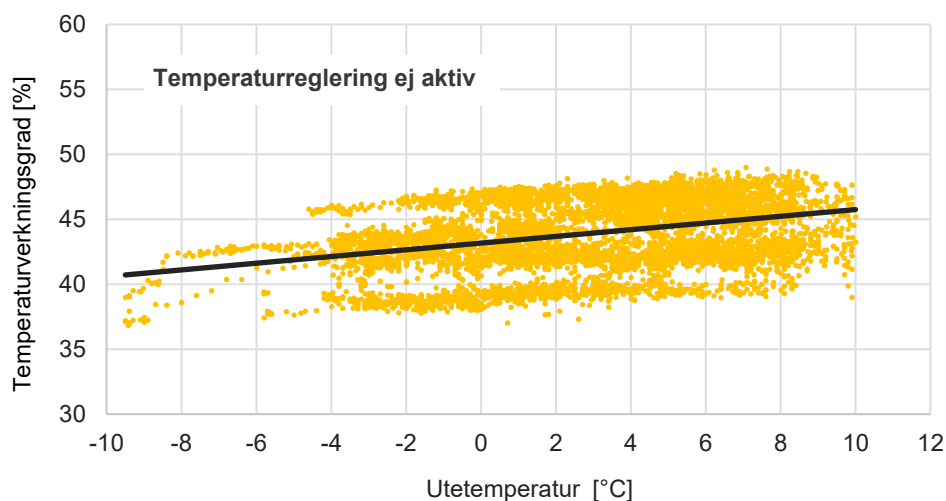


Figur 7 Foto inifrån aggregatet. Värmeåtervinningsbatteriets tilluftssida med porösa och delvis bortnötta flänsytor.

Uppgifter från tillverkaren gav vid handen att systemet var dimensionerat för en temperaturverkningsgrad på 58 %. Men i praktiken pendlade det över dygnet mellan ca 38 - 42 % dagtid och ca 45 - 48 % nattetid. Den låga nivån och pendlingen hade man hade man två teorier om:

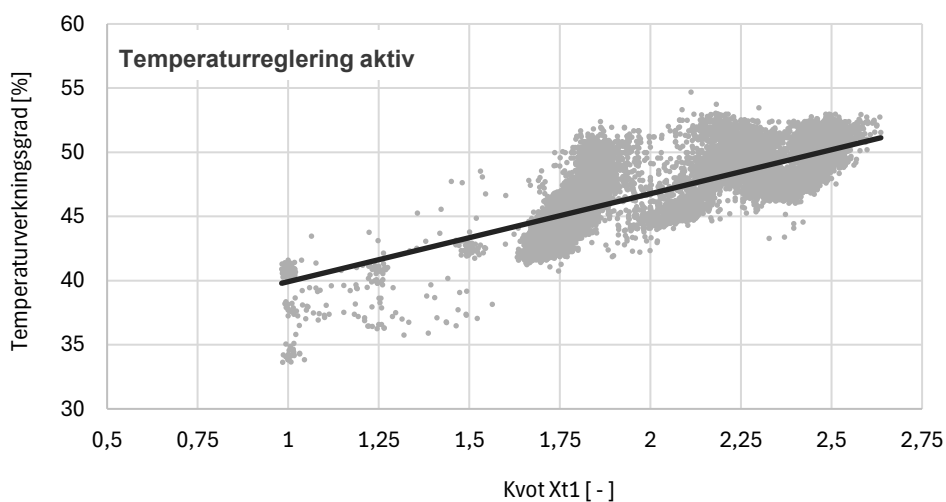
- 1) Underdimensionerad cirkulationspump i återvinningsbatteriet (räcker ej till under dagtid).
- 2) Flänsarnas undermåliga skick på återvinningsbatteriets tilluftssida minskar värmeöverföringen mellan luft och vätska, med låg temperaturverkningsgrad som följd.

Genom inloggning i övervakningssystem kunde bl.a. verkningsgraden i Figur 8 plottas mot utetemperaturen, där de gula prickarna är individuella mätvärden.



Figur 8 Temperaturverkningsgrad i relation till utetemperatur **innan** temperaturstyrning aktiverades. (Period: feb-mars, 2025)

I oktober 2025 lät man installera temperaturregleringen, varpå man tämligen omgående märkte att temperaturverkningsgraden sjönk ytterligare då X_t -värdet (temperaturkvoten) var 1,0. Regleringen ändrades då så att kvotens börvärde kunde justeras manuellt, varpå temperaturverkningsgraden succesivt ökades i takt med temperaturkvoten, se Figur 9.

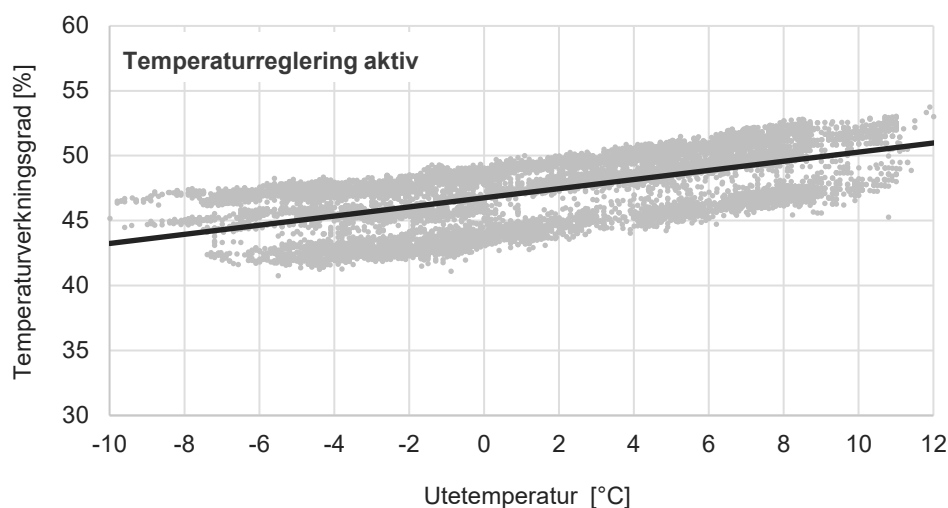


Figur 9 Temperaturverkningsgrad vid olika temperaturkvoter, X_{t1} (Period: nov-feb 2025/2026)

Totalt sett ökade temperaturverkningsgraden endast på marginalen efter att temperaturregleringen aktiverats. Från ett dygnsgenomsnitt på ca 44 % \pm 4,5 % till ca 47 % \pm 3,5 %. Orsaken till det lite snävare intervallet har inte undersökts.

Ökat vätskeflöde ger ökad temperaturkvot. I den aktuella anläggningen motsvarade temperaturkvoter från ca 1,9 och uppåt, att pumpen generellt levererade maximalt vätskeflöde.





Figur 10 Temperaturverkningsgrad i relation till utetemperatur. Här har värden för temperaturkvoter lägre än 1,9 sorterats bort. (Period: nov-feb 2025/2026)

Av såväl Figur 8 som Figur 10 framgår ett visst samband mellan temperaturverkningsgrad och utetemperatur, vilket framträder som lutningar i figurerna. Relationen är den samma då vätskeflödet är på konstant max. Vid temperaturer kring noll grader eller kallare sjunker temperaturverkningsgraden generellt i anläggningar på grund av påfrysning och avfrostning, men här finns sambandet kvar även vid plusgrader. Orsaken till detta har inte undersökts, men tros kunna härledas till vätskans egenskaper för olika temperaturer. Eventuellt kan även olycklig givarplacering leda till systematiskt mätfel. Om till exempel uteluftgivaren placerats så att den påverkas av strålning från aggregatets ytor kommer den registrera högre utetemperaturer än det egentligen är, vilket kan påverka lutningen. Ett sådant fenomen blir i så fall rimligtvis större desto kallare det är ute.

Den blygsamma prestandaökningen till trots behåller Chalmersfastigheter temperaturregleringen även framöver. En intern utvärdering genomförs då värmeväxlaren har bytts ut och pumpen ersatts med en större.

Slutsatser hittills:

- 1) Temperaturkvotens börvärde skall vara justerbart
- 2) Pumpen behöver kunna leverera erforderligt vätskeflöde i den aktuella installationen (bör klara ca 0,5 l/s vätska per m³/s luft)
- 3) Byte av värmeväxlare planerat

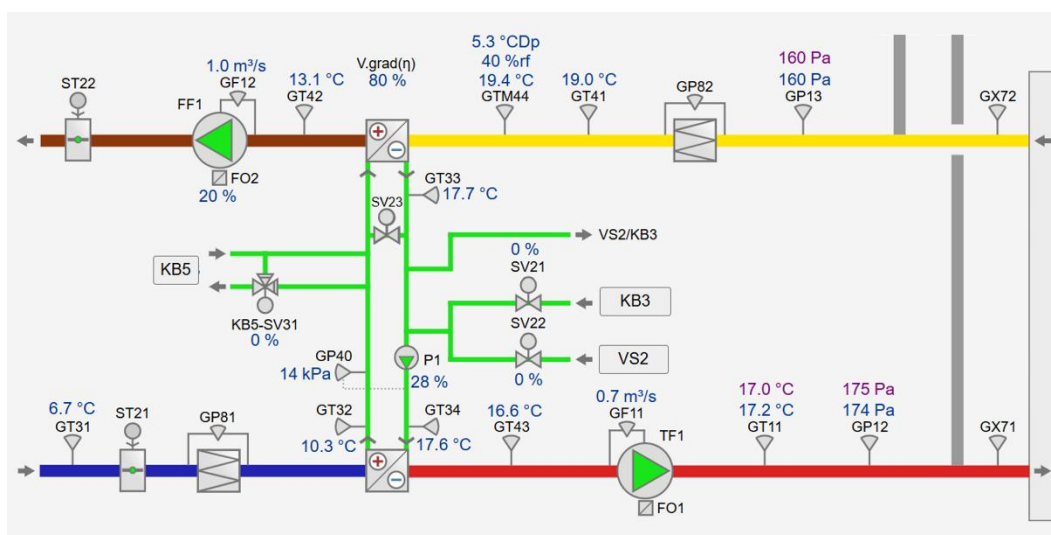
3.3.2 Testanläggning 2 – Vasakronan

Vasakronan var med och initierade förstudien om vätskekopplad värmeåtervinning som genomfördes 2018 och var delaktiga med en av sina anläggningar i det efterföljande forskningsprojektet vid Chalmers. De har många vätskekopplade anläggningar med VAV där luftvolymerna ofta regleras ned till betydligt lägre än vad systemen har dimensionerats för, vilket gör det ännu viktigare att säkerställa rätt vätskeflöde i återvinningskretsen för att få högsta möjliga verkningsgrad. Utöver detta är det vanligt förekommande att kyla och värme



tillförs värmeåtervinningskretsen, se Figur 11, istället för att ha efterföljande batterier för detta ändamål, vilket ytterligare komplicerar styrningen för hög verkningsgrad.

Inom ramen för detta projekt testade Vasakronan temperaturstyrningen i en anläggning, se Figur 11 för driftbild. Denna testanläggning har som ovan beskrivet kyla och värme tillförd i värmeåtervinningskretsen och värmeåtervinningsbatterierna har en dimensionerad verkningsgrad på 65%. Styrstrategin för hastigheten på pump P1 var innan implementering av temperaturstyrningen att styra på ett inställt värde för tryckfallsgivaren GP40, som kunde förskjutas mellan ett min- och ett maxvärde beroende på tilluftstemperatur GT11 och dagpunktstemperatur för GTM44.

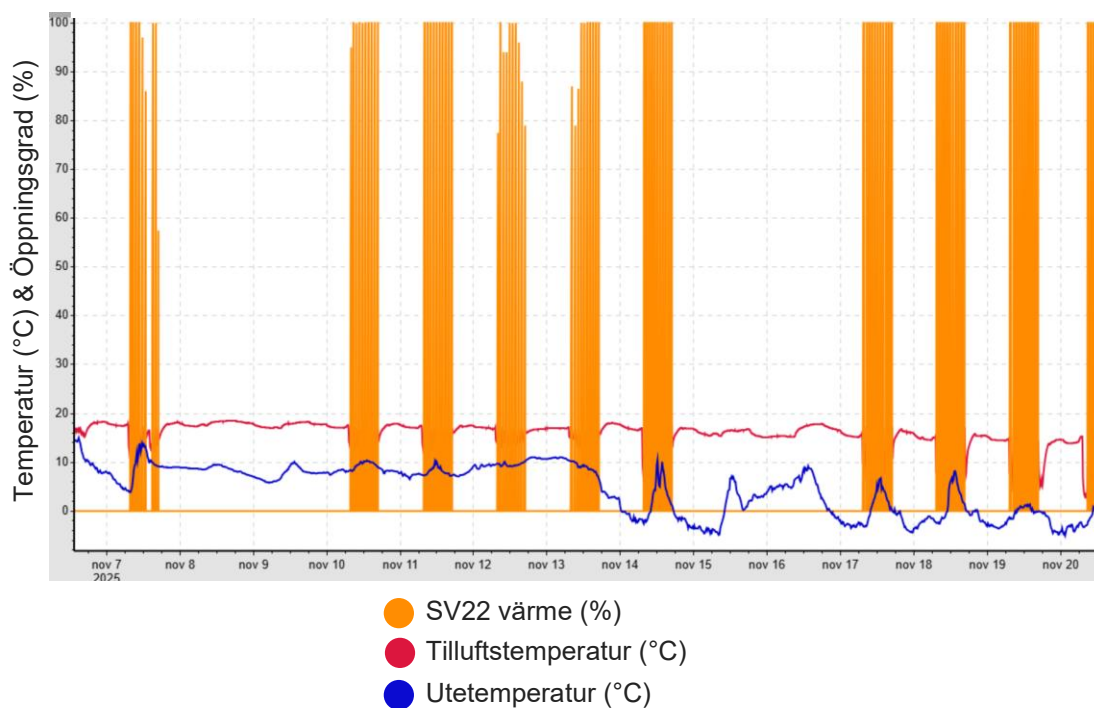


Figur 11 Driftbild av Vasakronans testanläggning för temperaturstyrningen.

När extern värme växlas in i värmeåtervinningskretsen vintertid för att kunna hålla börvärdet på tilluften finns det risk för den så kallade dödspiralen. Detta för att temperaturen på vätskan som går in i tillufts batteriet (GT34 i Figur 11) höjs vilket leder till att returtemperaturen från tillufts batteriet också höjs (GT32 i Figur 11). Det leder till att temperaturskillnaden mellan vätskan och luften i frånlufts batteriet minskar, vilket i sin tur orsakar minskad återvinning från frånluften. Konsekvensen av detta blir att mer värme måste tillföras externt in i värmeåtervinningskretsen för att tilluftstemperaturens börvärde ska upprätthållas, varpå värmeåtervinningen från frånluften minskar ytterligare. Detta blir en negativ spiral som innebär att ju mer värme som tillförs externt desto mindre värme kan återvinnas.

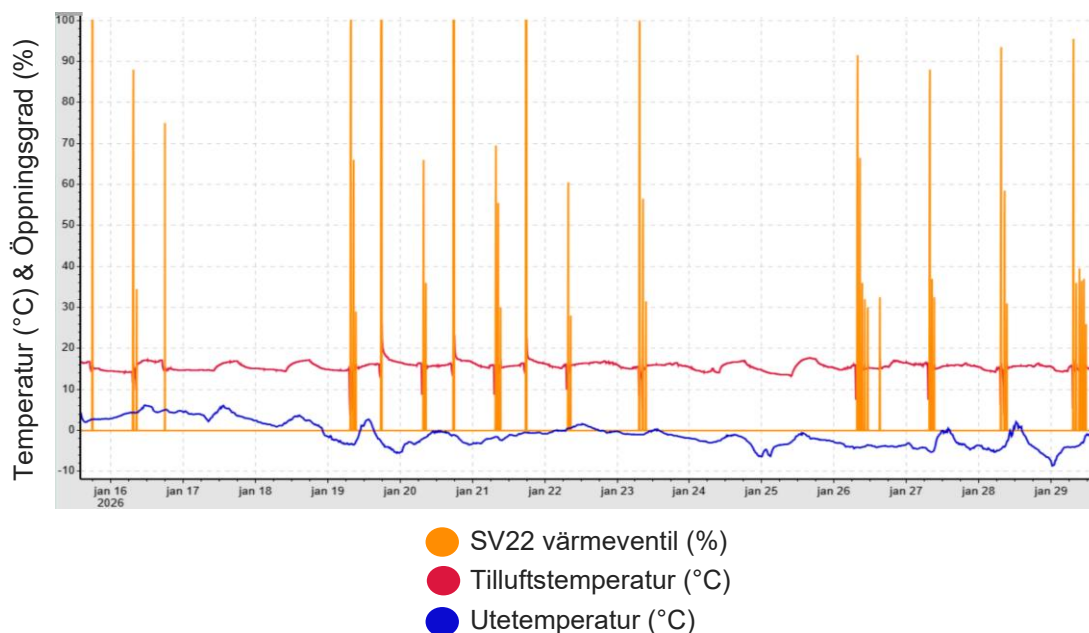
Vasakronan motverkar ovan beskrivna fenomen i testanläggningen genom att ha en minimumdifferens på -2 grader mellan tilluftens börvärde och ärvärde för tillåtelse av extern värme. Detta innebär att om ärvärdet är lägre än 2 grader från börvärdet får ventil SV22 öppna för att tillföra värme. Utöver detta är fördröjningstiden för att ventil SV22 ska få öppna inställd på 30 minuter samt att så fort tilluftens ärvärde har blivit 1 grad lägre än tilluftens börvärde tillåts inte mer extern tillförd värme och ventil SV22 stänger.





Figur 12 Öppningsgrad för värmeventil SV22 under perioden 7-20:e november **innan** temperaturstyrningen implementerades. I figuren syns även tilluftstemperatur och utetemperatur.

I Figur 12 kan man se hur mycket och hur ofta ventil SV22 har öppnat under perioden 7–20:e november 2025 innan temperaturstyrningen implementerades. I diagrammet finns även tilluftstemperatur och utetemperatur för perioden. Temperaturstyrningen implementerades i slutet av november/början av december och trimmades in för att fungera bra med övriga styrparametrar. Temperaturstyrningen har därefter varit aktiverad från och med december månad.

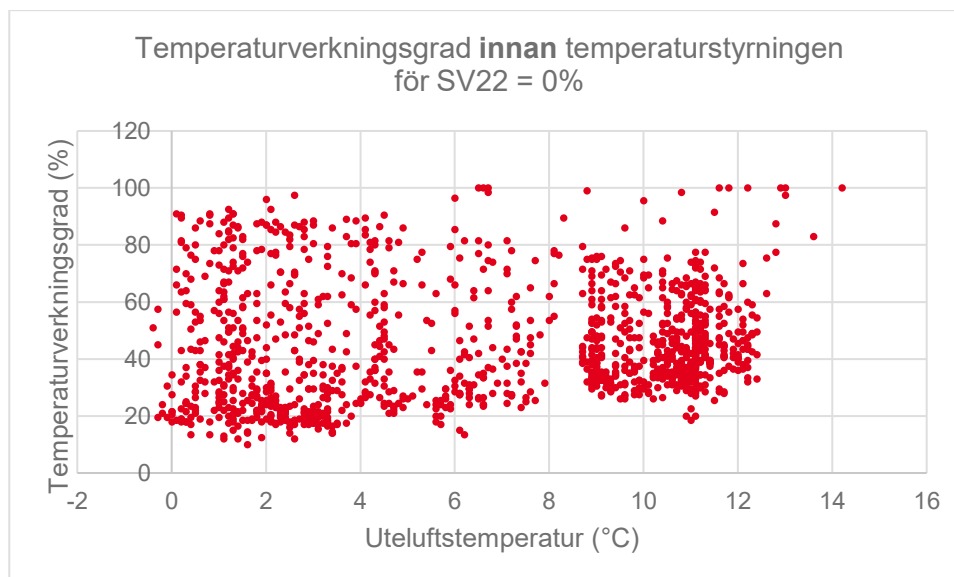


Figur 13 Öppningsgrad för värmeventil SV22 under perioden 16-29:e januari **efter** temperaturstyrningen implementerades. I figuren syns även tilluftstemperatur och utetemperatur.

Under januari-februari 2026 var utetemperaturen lägre än den var under december 2025. I Figur 13 kan man se att värmeventil SV22 har öppnat betydligt mindre (endast ett fåtal gånger till 100%) samt under kortare stunder för perioden 16–29:e januari med temperaturstyrningen aktiv jämfört med perioden 7–20:e november 2025 i Figur 12. Detta trots att utetemperaturen var lägre under testperioden jämfört med innan. Med temperaturstyrningen räcker enbart värmeåtervinning tills utetemperaturen är lägre än ca -3 °C. Blir det kallare än så behöver värmeventilen SV22 tillfälligt öppna 30–40%, ca 3 gånger per timma, och vid enstaka tillfällen mer än 40%.

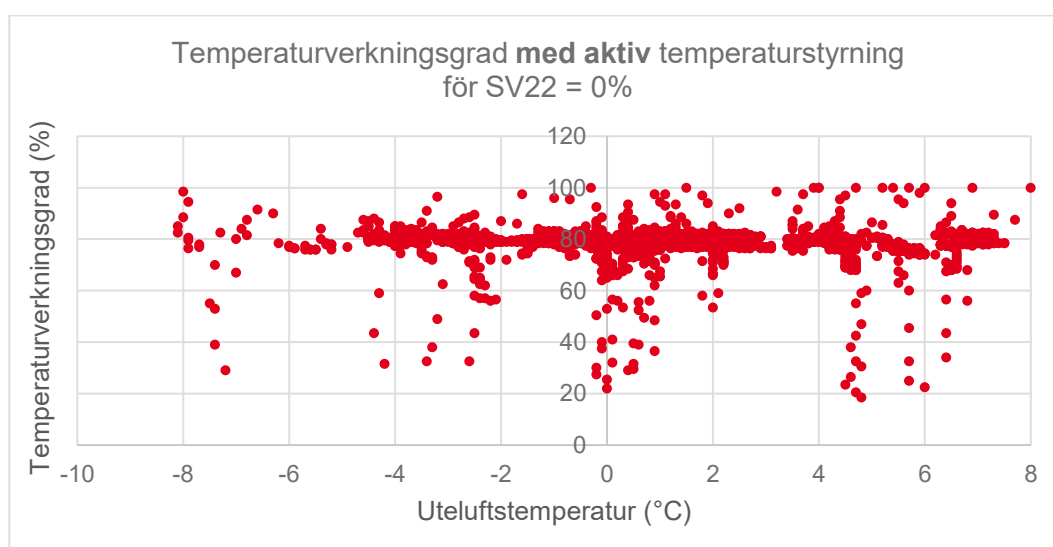
Eftersom denna anläggning har externt tillförd värme i VÅ-kretsen har för följande två grafer datapunkter då ventilläget för SV22 är 0% använts, vilket innebär att det endast har varit värmeåtervinning.





Figur 14 Temperaturverkningsgrad i relation till uteluftstemperatur **innan** temperaturstyrning aktiverades. (Period: 7-20:e november, 2025)

I Figur 14 kan man se vad verkningsgraden var innan temperaturstyrningen implementerades. På x-axeln finns uteluftstemperaturen så som uppmätt i luftbehandlingsaggregatet innan tillufts batteriet. Datan är sammanställd för perioden 7-20:e november och enbart data då aggregatet är i drift (mellan kl. 7-18 på vardagar) har använts. Verkningsgraden är beräknad i styr- och övervakningssystemet utifrån uppmätta värden för frånluft, uteluft och tilluft och varje datapunkt är uppmätt med 3-minuters intervall. En del orimliga värden förekommer, så som temperaturverkningsgrader på och nära 100 %, som sannolikt uppkommit vid uppstart och nedstängning av aggregatet innan temperaturmätningar har hunnit ställa in sig efter driftförhållandena. Temperaturverkningsgradens medelvärde för perioden är 45%.



Figur 15 Temperaturverkningsgrad i relation till uteluftstemperatur. (Period: 7-29:e januari 2026).

I Figur 15 kan verkningsgraden för aggregatet under testperioden 7-29:e januari ses. Vad som är tydligt mellan denna figur och föregående är att verkningsgraden ligger runt 80 % med ett medelvärde på 79 % för utvärderingsperioden, och det finns mycket färre datapunkter under

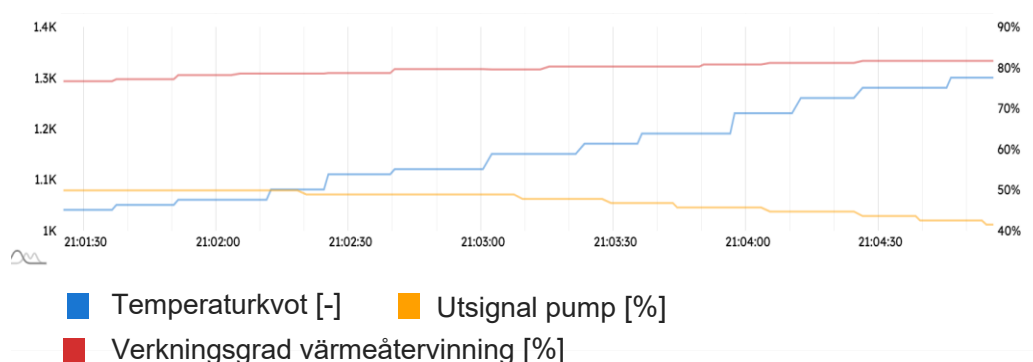


60 %. Detta är i kontrast mot föregående figur där det finns en stor variation, med många värden betydligt under 60 %. Detta test visar att verkningsgraden har höjts från i snitt 45 % till 79 % tack vare temperaturstyrningen, och trots att dimensionerad verkningsgrad är 65 %. Denna stora skillnad indikerar att något kan vara fel, exempelvis temperaturmätningarna, stora obalanser mellan till- och frånluft, läckflöde genom den stängda värmeventilen eller att den dimensionerade verkningsgraden inte var korrekt. Detta till trots visar testet med temperaturstyrningen att anläggningen har fått högre verkningsgrad och en betydligt mindre mängd extern tillförd värme.

3.3.3 Testanläggning 3 – AMF Fastigheter

Testanläggning 3 är ett platsbyggt luftbehandlingsaggregat med till- och frånluft i två olika rum som byggdes om under hösten 2025. Då byttes fläktarna ut mot nya fläktar med EC motorer, värmeåtervinningsbatterierna byttes ut till större så att deras tvärsnittsarea fördubblades och har en dimensionerad verkningsgrad på 79,2 %, samt att pumpen i vätskekretsen byttes ut mot en ny. Temperaturstyrningen kravställdes i projekteringsanvisningarna för denna ombyggnation och förbereddes för under installationen. Det ombyggda aggregatet togs i drift i början av 2026 med godkänd entreprenad, men mycket intrimning och åtgärdande av flera av kvarstående restpunkter från installationen pågår under testperioden av temperaturstyrningen. Aggregatet är ett CAV system med två olika luftflödesnivåer för höglast som sker mellan kl. 07-21 samt dellast som sker kl. 06-07 samt kl. 21-22. Mellan kl. 22-06 är aggregatet avstängt. I värmeåtervinningskretsen finns även tillskott av extern kyla (AS13-KB01 i Figur 16) samt att ett frånluftsbatteri placerat i garaget också är inkopplat på värmeåtervinningskretsen (AS12-LB21 i Figur 16). Extern värme tillförs i ett efterföljande värmebatteri efter värmeåtervinningsbatteriet, se Figur 16.





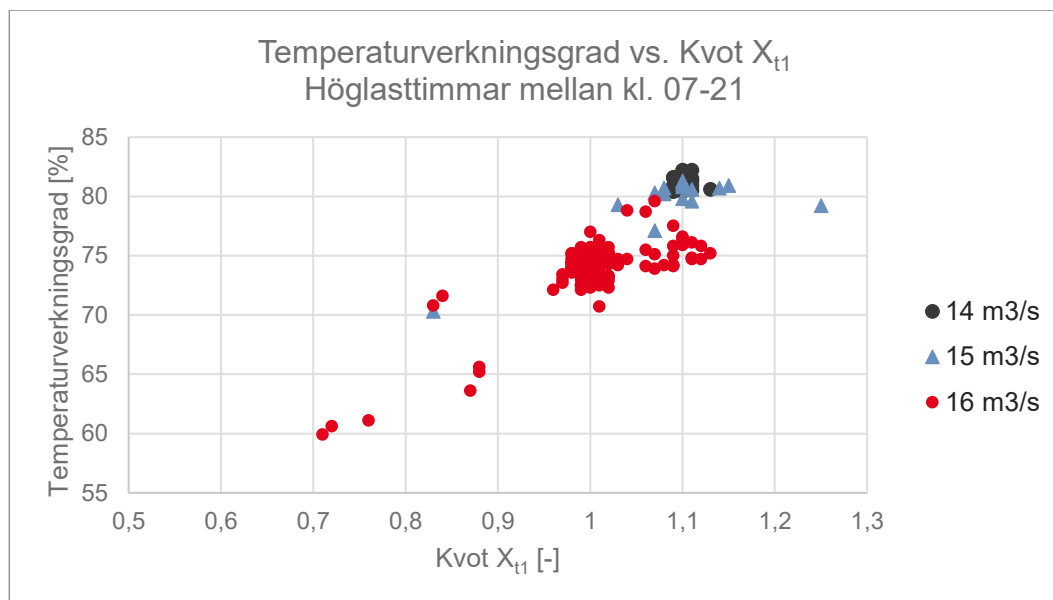
Figur 17 Temperaturkvoten (blå), värmeåtervinningens verkningsgrad (röd) och pumpens utsignal (gul) som funktion av tid. På vänster y-axel avläses temperaturkvoten och på höger y-axeln avläses verkningsgrad och styrsignal.

Vid avstängning, då luftflödet reduceras, ökar den aktuella temperaturkvoten som förväntat, från drygt 1,0 till nästan 1,3 under loppet av 4 minuter. Verkningsgraden ökar något samtidigt som pumpen varvar ner styrsignalen från ca 50 % till 40 %. Förloppet är stabilt och systemet uppvisar inga svängningar eller instabiliteter i samband med nedregleringen.

Pumpen har en begränsning i hur lågt den kan varva ned, där den lägsta utsignalen är 20 %. Detta beror på att den är relativt stor och inte kan drivas stabilt vid lägre flöden. Minbegränsningen på 20 % är således en teknisk begränsning och en lägre miniminivå hade förmodligen gett ett bättre reglerområde och förbättrad anpassning vid låglast. Förstärkningen i pumpregulatorn skulle kunna minskas något för att ytterligare öka robustheten och minska risken för svängningar. Det kan vara lämpligt att införa ett fast pumpflöde under de första minuterna efter uppstart, innan övergång till ordinarie reglering sker, för att säkerställa ett stabilt initialt driftläge.

Testet kan också jämföras mot teorin samt batteriernas dimensionerande verkningsgrad. I Figur 18 kan temperaturverkningsgraden för olika temperaturkvoter, X_{t1} , ses. Den högsta temperaturverkningsgraden på drygt 82 % uppnås vid X_t -kvoter runt 1,1 med luftflöde på ca $14 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket är högre än den dimensionerade temperaturverkningsgraden på 79,2 %. För luftflöden på ca $15 \text{ m}^3/\text{s}$ erhålls också höga verkningsgrader, men för luftflöden på $16 \text{ m}^3/\text{s}$ är verkningsgraden lägre, med medelvärde 74% och huvudsakligen en temperaturkvot runt 1,0.





Figur 18 Temperaturverkningsgrad vid olika temperaturkvoter, X_{t1} , kl. 07-21, samt olika luftflöden vid höglastdriftfall. (Period: 20:e till 23:e februari 2026).

3.3.4 Reflektioner i samband med implementering av styrstrategin

Vid implementering av temperaturstyrningen har driftfall då värmeåtervinningsbehovet i aggregatet inte är 100 % diskuterats. Fastighetsägarna har generellt hanterat detta genom att regulatören i dessa driftfall övergår från fullt återvinningsläge med styrning mot en optimerad temperaturverkningsgrad enligt temperaturstyrningen, till att styra på tilluftens börvärde. Pumpen varvar ner för att hålla detta börvärde, enligt etablerad praxis för styrprogrammering. Pumpen styrs direkt mot tilluftens regulator och anpassar varvtalet efter aktuellt behov. Vid minskat återvinningsbehov varvas pumpen ned för att reducera flödet och därmed effekten i värmeåtervinningen. Samtidigt kan shuntventilen i kretsen användas för att bypassa tillufts batteriet, vilket möjliggör finjustering av värmeöverföringen och säkerställer stabil temperaturreglering även vid dellast.

4. SLUTSATSER

Syftet med detta projekt var att samla in erfarenheter från fastighetsägare kring vätskekopplad värmeåtervinning samt undersöka hur den nya styrstrategin kan tillämpas i praktiken. Resultaten visar att de flesta anläggningarna med vätskekopplad värmeåtervinning har verkningsgrader mellan 40–60 %, ofta under 50 %. Dessa anläggningar har vanligtvis konstanta luftflöden och pumpen i vätskekretsen har konstant varvtal, vilket innebär att optimering av vätskeflödet inte är den lösning som kommer att öka verkningsgraden (om den dimensionerande verkningsgraden inte är högre än ca 50 – 55 %). Dock är de dimensionerande temperaturverkningsgraderna oftast okända. För alla befintliga system med låga verkningsgrader bör man därför:



- Kontrollera att kvoten X_t är mellan 1,0–1,3 för aktuellt luftflöde (exempelvis genom handmätning på plats). Om kvoten är mellan 1,0–1,3 är vätskeflödet korrekt, i annat fall behöver pumpen justeras så vätskeflödet blir korrekt. För VAV system behöver kvoten kontrolleras för olika luftflödesnivåer.
- Övervaka temperaturverkningsgrad i styr- och övervakningssystemet samt säkerställa att temperaturgivarna är korrekt installerade och mäter korrekt.
- Ta reda på dimensionerade verkningsgrader och dokumentera detta. För att värdera den uppmätta verkningsgraden behöver den ställas i relation till den dimensionerade verkningsgraden.
- När man tagit reda på faktiskt och dimensionerad verkningsgrad kan man räkna på potentiella kostnadsbesparingar för att rättfärdiga insatser som krävs i form av tid och pengar för att förbättra prestandan.

Resultatet av testerna av styrstrategin i praktiken visade att den fungerar stabilt i alla tre anläggningar och kan ge tydligt förbättrad temperaturverkningsgrad när komponenterna är i gott skick och dimensionerade för tillräckligt höga verkningsgrader. Anläggningar med slitna batterier eller otillräckligt vätskeflöde får endast marginella förbättringar. Testerna bekräftar att den nya styrstrategin är driftsäker och fungerar väl ihop med befintlig styrning. Temperaturstyrningen kan ge högre temperaturverkningsgrad när förutsättningarna i anläggningen är rätt. För de anläggningar där styrstrategin är relevant att implementera kan dock kompetenshöjande insatser behövas för involverade i alla led, så som från beställare till konsult, leverantörer och entreprenör.

Även om styrstrategin inte skulle vara relevant att tillämpa för ett befintligt system, är det viktigt att som fastighetsägare kravställa höga verkningsgrader, om det går, vid ombyggnationer och renoveringar, men framförallt vid nybyggnation. Som minst ska verkningsgraden enligt EU:s Ecodesign direktiv vara 68% för vätskekopplade ventilationsaggregat⁵, men högre verkningsgrader än så är att föredra för en bättre driftsekonomi. Då en högre verkningsgrad har dimensionerats för behövs också en styrstrategi som kan säkerställa att de höga verkningsgraderna uppnås, tex. den föreslagna temperaturstyrningen. I bilaga 1 finns ett typdriftkort för temperaturstyrstrategin som stöd för dess implementering i både befintliga och nya aggregat. Temperaturstyrningen kan även vara ett sätt att undvika att bygga om till nya lösningar, så som roterande och korsströmsvärmeväxlare, som en åtgärd att få högre verkningsgrad.

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253>



BILAGA 1 – TYPDRIFTKORT FÖR VÅV TEMPERATURREGLERING

Detta typdriftkort är avsett som ett komplement till befintligt driftkort för reglering av luftbehandlingsaggregat med vätskekopplad värmeåtervinning och ersätter inte befintliga reglerfunktioner.

Värmeåtervinning temperaturreglering

Vid värmeåtervinningsbehov regleras varvtalet för pump P1 i vätskekretsen för att hålla inställt börvärde för kvoten/faktorn (Xt eller K).

Kvoten/faktorn (Xt eller K) beräknas enligt följande formel: $((GT2-GT1) / (GT4-GT3))$

Där:

GT2 = luftens temperatur efter värmåtervinningsbatteriet i tilluftskanalen

GT1 = luftens temperatur innan värmåtervinningsbatteriet i tilluftskanalen

GT4 = vätskans temperatur innan värmåtervinningsbatteriet i tilluften

GT3 = vätskans temperatur efter värmåtervinningsbatteriet i tilluften

Kvoten/faktorn ska vara synlig och inställbar i driftbild.

Optimal verkningsgrad erhålles normalt sett för kvoter/faktorer mellan ca 1,0–1,3 (provas fram genom granskning av temperaturverkningsgrad VÅV)

Vid högre kvot/faktor än inställt värde minskar varvtalet för pump P1.

Vid lägre kvot/faktor än inställt värde ökar varvtalet för pump P1.

Temperaturverkningsgrad VÅV

Verkningsgraden ska vara synlig i driftbild och kunna följas upp. Verkningsgraden beräknas enligt följande: $((GT5-GT1) / (GT2-GT1))$

Där:

GT5 = frånluftens temperatur

GT1 och GT2 (se ovan)



BILAGA 2 – ENKÄT

Här presenteras den enkät som ligger till grund för Avsnitt 2.2. Enkäten inleds med en bakgrundsbeskrivning, följt av frågor. Utskicket såg ut som följer.

Enkät om vätskekopplad värmeåtervinning

Felaktiga vätskeflöden är en vanlig orsak till att vätskekopplad värmeåtervinning ofta underpresterar med låga temperaturverkningsgrader. Nu har dock en ny styrstrategi tagits fram på Chalmers (se gärna filmsnutt här:

<https://www.youtube.com/watch?v=3GDCTdM2ToM>, från ca 8e till 28e minuten).

Denna enkät ingår i en förstudie inom Belok som syftar till att samla in erfarenheter om VKVÅ samt att undersöka hur den nya och andra styrstrategier kan tillämpas i praktiken för ökad temperaturverkningsgrad. Tack för att du bidrar med dina erfarenheter!

OBS! Notera att vissa frågor dyker upp först efter att frågan innan har besvarats.

Till sist... Vidarebefordra gärna enkäten även till andra som du tror du kan och vill bidra! När du skickar in det här formuläret samlar det inte automatiskt in dina uppgifter som namn och e-postadress om du inte anger det själv.

Förkortningar och begrepp

- VKVÅ = vätskekopplad värmeåtervinning
- VKVÅ-aggregat = ventilationsaggregat med VKVÅ
- VFD = pump med variabelt vätskeflöde (Variabel Frequency Drive)

Ungefär hur stor andel av era ventilationsaggregat har VKVÅ?	Mer än 75 %	A
	50 – 75 %	C, H
	25 – 50 %	F
	Mindre än 25 %	B, D, E, G
	Vet ej	
Ungefär hur stor andel av ert totala ventilationsflöde sker i VKVÅ-aggregat?	Mer än 75 %	A
	50 – 75 %	C
	25 – 50 %	F
	Mindre än 25 %	B, D, E, G
	Vet ej	H
Vilka typer av verksamheter försörjer VKVÅ-aggregaten?	Kontor	A, C, F, H
	Köpcenter	F
	Restauranger	A, E, F, G
	Sjukvård – operation	B, H



	Sjukvård – annat än operation	B, C, H
	Tillverkning	A, G
	Vet ej	
	Annat (beskriv gärna) - D: skolkök och i äldre fastigheter - E: skolor och förskolor	
Har ni själva valt att installera VKVÅ?	Nej, de fanns där sedan tidigare	A
	Ja, alla eller de flesta av dem (beskriv varför) ¹	B, C, D, E
	Ja, något eller några enstaka av dem (beskriv varför) ¹	G, H
	¹⁾ - B: Renhetskrav samt utrymmesbegränsningar och placering av till- och frånluft. - C: Renhetskrav (smitta) - D: Numera installeras det ej, men tidigare för att undvika luktöverföring och i äldre fastigheter utan andra möjligheter - E: Verksamheten. Skolkök och dragskåp. Även platsbrist samt att till- och frånluft i vissa fall löper separat.	
	Vet ej	F
Vilka påståenden stämmer bäst? I våra VKVÅ-aggregat med <u>variabla luftflöden...</u>	... styrs <u>luftflödet</u> vanligtvis med CO ₂ och/eller lufttemperatur	A, D, E, G
	... styrs <u>luftflödet</u> vanligtvis med annat än CO ₂ och lufttemperatur	F
	... har vi vanligtvis tillförsel av extern värme/kyla ("econetter" eller motsv.)	B, C, D, F
	... har vi vanligtvis > 20 % obalans mellan till- och frånluftflöde	
	... har vi vanligtvis < 20 % obalans mellan till- och frånluftflöde	A, B, F
	Vet ej	H
	Annat (beskriv gärna)	
Vilket påstående stämmer bäst? I våra VKVÅ-aggregat med <u>variabla luftflöden...</u>	... är <u>vätskeflödet</u> vanligtvis konstant (pump med konstant varvtal)	A, B, C, D, E, F, G, H
	... är <u>vätskeflödet</u> vanligtvis variabelt	
	Vi har inga VKVÅ-aggregat med variabla luftflöden	
Vid variabelt vätskeflöde regleras pumpen med avseende på...	...tryck	
	... flöde	
	...temperatur	
	Vet ej	
	Annat (beskriv gärna)	
Vilka påståenden stämmer bäst? I våra VKVÅ-aggregat med <u>konstanta luftflöden</u> (inkl. system	... har vi vanligtvis tillförsel av extern värme/kyla ("econetter" eller motsvarande)	A, B, C, D, E, F, G, H
	... har vi vanligtvis > 20 % obalans mellan till- och frånluftflöde	
	... har vi vanligtvis < 20 % obalans mellan till- och frånluftflöde	B, F



med nattsänkningar och liknande enstaka stegfunktioner)...	... är vätskeflödet vanligtvis konstant där pumpen ej har VFD	D, F, H
	... är vätskeflödet vanligtvis konstant där pumpen har VFD	B, C, D, F
	Vet ej	
	Annat (beskriv gärna)	
Mäter ni kontinuerligt temperaturverkningsgrad i era VKVÅ-aggregat?	Nej (motivera gärna) ¹	
	¹⁾ Xx	
	Ja (beskriv gärna hur) ²	A, B, C, D, E, F, H
	²⁾ - B: beräknas med tempgivare för respektive aggregat - C: Mäter frånluftsverkningsgrad via temperaturgivare i aggregat eller anslutande kanaler. - D: En inbyggd funktion i vår styr, vet ej hur den gör. - E: Frånluftsverkningsgrad i första hand. Tilluftsverkningsgrad i andra hand.	
	Vet ej	G
Ungefär vilken temperaturverkningsgrad har era VKVÅ-aggregat generellt?	60 % eller mer	
	50 – 60 %	
	40 – 50 %	B, C, F, H
	30 – 40 %	A, D, E
	30 % eller mindre	
	Vet ej	G
Har ni VKVÅ-aggregat där temperaturverkningsgraderna är tydligt lägre än dimensionerat?	Nej	
	Ja (beskriv gärna vad du tror att detta beror på) ¹	A, B, C, E, F
	¹⁾ - A: Långa sträckor mellan till- och frånluftsaggregat samt dålig isolering - B: För dålig kunskap, ingen prioritering av systemen. - E: Obalans i luftflöden. Felkopplade återvinningar. Vätska som behöver bytas eller servas.	
	Vet ej	D, G, H
Har ni genomfört åtgärder för att försöka förbättra temperaturverkningsgraden?	Nej (beskriv gärna varför) ¹	D
	¹⁾ - D: Brist på personal och kunskap på vår driftorganisation	
	Ja (beskriv hur och resultat) ²	A, B, C, E, F, H
	²⁾ - A: Rengöring av batteri, både på luft-, och vätskesidan. Årlig kontroll av vätske kvalitet. Har ibland gett något bättre verkningsgrad. - C: Har dels bytt till bättre batterier, och dels bytt till nya styrparametrar. - E: Bl.a. injustering av återvinningar, omkoppling av återvinningar, vätskebyten, rengöring av värmebatterier. Omkoppling av felkopplade gav bäst utdelning. Även injusteringar brukar ge bra resultat. Blandade resultat av vätskebyten, ofta svårt att se tydlig förbättring.	



	Vet ej	G
Fasar ni ut VKVÅ i möjligaste mån?	Ja (motivera varför och vad ni byter till) ¹	A, B, D, E, F, G, H
	¹⁾ - A: Roterande VVX om det ryms, men ofta står till- och frånluftsaggregat på helt olika våningsplan i gamla hus - B: Till system med högre verkningsgrad. Rotor eller motströms/korsströms - D: För dålig verkningsgrad. Byter till korsväxlare. - E: För att få bättre verkningsgrad där möjligt. Framst till roterande värmeåtervinning.	
	Nej eftersom det krävs pga. verksamheten	C
	Nej eftersom det är ekonomiskt olönsamt att byta	
	Nej eftersom det är miljömässigt för kostsamt	
	Vet ej	
	Annat	
Om det fanns ett sätt att säkerställa dimensionerad temperaturverkningsgrad för VKVÅ, skulle det då vara aktuellt att behålla?	Ja	A, D, F, H
	Nej	B, E
	Vet ej	G
Är det något du vill tillägga som du tror är av vikt i sammanhanget? Skriv det här!	- A: Lösningar för att tillvarata värmen ur frånluften, innan den hunnit kallna så mycket vid tilluften vore intressant. - C: Kommer huvudsakligen installera VKVÅ i framtiden. - E: Vi kommer alltid ha vätskeburen återvinning där vi måste, vilket är på många ställen. Vi föredrar dock roterande om det går att få till	

