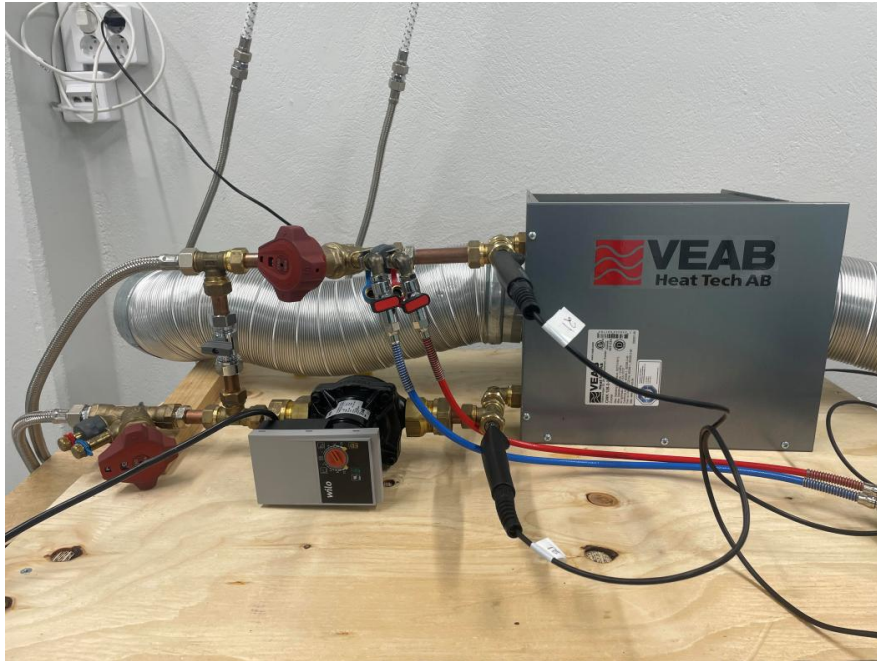




CHALMERS



Optimerad reglering av kylbatterier

Utvärdering av regleralternativ för optimerad avfuktning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Oliver Fahlman

Albin Hillén

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Optimerad reglering av kylbatterier

Utvärdering av regleralternativ för optimerad avfuktning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Oliver Fahlman

Albin Hillén

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

Optimerad reglering av kylbatterier

Utvärdering av regleralternativ för optimerad avfuktning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Oliver Fahlman

Albin Hillén

© OLIVER FAHLMAN, ALBIN HILLÉN, 2026

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild på laborationsrigg

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2026

Optimerad reglering av kylbatterier

Utvärdering av regleralternativ för optimerad avfuktning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

OLIVER FAHLMAN

ALBIN HILLÉN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Sammanfattning

I dagens VVS-bransch är det praxis att använda shuntgrupper vid vätskeburna kylbatterier, trots att det saknas opartisk motivering till varför detta utgör det optimala valet. Syftet med detta examensarbete är därför att jämföra reglering via en shuntgrupp med flödesreglering. Det primära fokuset är att undersöka vilket av dessa regleralternativ som bidrar till störst avfuktning av tilluften. Fördelen med avfuktning i kylbatteriet är mindre risk för att kondensation sker ute i resterande delar av tilluftssystemet där det kan få negativa konsekvenser.

För att utvärdera systemen har en fysisk testrigg konstruerats. Riggen har möjliggjort fysiska tester där avfuktningsskapaciteten har testats för de olika regleralternativen vid olika lufttillstånd. Därefter återskapades de fysiska testerna i simuleringsprogrammet FläktGroup Acon.

Resultaten som tagits fram via de fysiska testerna och simuleringarna har tydligt indikerat att flödesreglering resulterar i mer avfuktning jämfört med shuntreglering. De fysiska mätningarna begränsades delvis på grund av en hög tilloppstemperatur, men tester i simuleringsprogrammet bekräftar att vid en lägre framledningstemperatur erhålls mer avfuktning vid flödesreglering.

Studiens slutsats är att en övergång till flödesreglering teoretiskt skulle möjliggöra materialbesparingar och ett torrare inneklimat. Vidare studier skulle däremot krävas för att kunna utvärdera hur det ökade effektbehovet för avfuktning påverkar byggnaders totala energianvändning över tid. För att kunna avgöra vilket regleralternativ som är mest optimalt rekommenderas att livscykelkalkyler utförs.

Abstract

In today's HVAC industry in Sweden, it is standard practice to use shunt units for cooling coils, despite a lack of unbiased justification as to why this constitutes the optimal choice. The purpose of this thesis is therefore to compare temperature- and flow control via a shunt unit with flow control via a control valve only. The primary focus is to investigate which of these circuit alternatives that contributes most to the dehumidification of the supply air. The advantage of dehumidification in the cooling coil is to ensure that no condensation occurs in other parts of the supply air system, where it would have negative consequences.

To evaluate the systems, a physical test rig has been constructed. The rig has made physical experiments possible, where the dehumidification capacity has been tested for the different circuit alternatives under various supply air temperatures to demonstrate a trend. Subsequently the physical experiments were recreated in the simulation software FläktGroup Acon to evaluate the reliability of the simulations and determine whether both methods produce similar results.

The results generated through the physical tests and simulations have clearly indicated that flow control using only a control valve results in more dehumidification compared to the shunt group. The physical measurement was partially limited due to a high water inlet temperature, but tests in the simulation software confirm that a lower supply temperature increases the differences in dehumidification in favor of the control valve.

The study's conclusion is that a transition to flow control with a control valve would theoretically enable material savings and a drier indoor climate. However, further development of these studies would be required to evaluate how the increased power demand for dehumidification affects the buildings total energy use over time. To determine which circuit alternative is most optimal, it is recommended that life cycle calculations are performed before a choice is made by designers.

Innehåll

Sammanfattning.....	I
Abstract.....	II
Förord.....	V
Beteckningar.....	VI
Variabler.....	VI
Termer.....	VII
Symboler.....	VIII
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Teori.....	1
1.4 Avgränsningar.....	1
1.5 Metod.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Kylning i byggnader.....	3
2.2 Kylbatteriets funktion.....	3
2.3 Termisk komfort.....	4
2.4 Luftfuktighet.....	4
2.5 Energianvändning i byggnader.....	7
2.6 Komponenter i shuntgrupp.....	7
2.7 Komponenter vid flödesreglering.....	9
3 Beräkningar och tester i olika simuleringsprogram.....	10
3.1 IV Produkt Designer.....	10
3.2 Swegon AHU Design.....	13
3.3 FläktGroup Acon.....	13
4 Fysiska labbmätningar.....	18
4.1 Komplikationer inför labbmätningar.....	24
4.2 Sammanställning av mätdata.....	25
4.3 Osäkerheter vid labb.....	25
4.4 Genomförandet av labbtester.....	26
4.5 Resultat.....	28
5 Jämförelse av simulering och labb.....	36
5.1 Återskapandet av labbttest 1 i Acon.....	37
5.2 Simulering med nya tilloppstemperaturer.....	38
6 Diskussion.....	39

6.1	Avfuktning via flödesreglering och shuntning.....	39
6.2	Osäkerheter av resultat	40
6.3	Energi- och materialbesparing	40
6.4	Vidare studier	41
7	Slutsats.....	42
8	Referenser.....	44
APPENDIX A – Simuleringsresultat i Acon före labbtester.....		46
APPENDIX B – Resultat från labbtester		49
APPENDIX C– simuleringar i Acon efter labbtester		55

Förord

Detta examensarbete är utfört av Oliver Fahlman och Albin Hillén i samarbete med Norconsult. Arbetet utgör det avslutande momentet för högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetets omfattning är 15 högskolepoäng och har utförts under vårterminen 2026.

Vi vill rikta ett särskilt tack till våra handledare på Norconsult, Tomas Utterhall och Mattias Bergh, för handledning och stöd under projektets gång. Vidare tackar vi vår handledare på Chalmers, Torbjörn Lindholm, och forskningsingenjör Håkan Larsson för hjälp med laborationsriggen, samt examinator Anders Trüschel för vägledning.

Slutligen tackar vi Mattias Gruber på FläktGroup för hjälp med simuleringar och VEAB för bidraget av kylbatteriet till laborationen.

Göteborg, maj 2026

Oliver Fahlman

Albin Hillén

Beteckningar

Variabler

$t_{1,luft}$	Lufttemperatur innan kylbatteri [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{2,luft}$	Lufttemperatur efter kylbatteri [$^{\circ}\text{C}$]
Δt_{luft}	Temperaturdifferans luft [$^{\circ}\text{C}$]
RF_{innan}	Relativ fuktighet innan kylbatteri [%]
RF_{efter}	Relativ fuktighet efter kylbatteri [%]
$t_{1,vatten}$	Tilloppstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{2,vatten}$	Returtemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
t_{medel}	Medeltemperatur vatten [$^{\circ}\text{C}$]
Δt_{vatten}	Temperaturdifferans vatten [$^{\circ}\text{C}$]
t_{eff}	Effektiv yttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
\dot{V}_{luft}	Luftflöde [m^3/h]
\dot{V}_{vatten}	Vattenflöde [l/s]
x_1	Vatteninnehåll i luft före kylbatteri [kg/kg]
x_2	Vatteninnehåll i luft efter kylbatteri [kg/kg]
Δx	Skillnad i luftens vatteninnehåll [kg/kg]
ρ_{luft}	Luftens densitet [kg/m^3]

Termer

Avfuktningskapacitet	Systemets förmåga att avlägsna vattenånga från luften
Börvärde	Det önskade tillståndet för temperatur eller relativa fuktighet
Daggpunkt	Den temperatur luften är mättad av vattenånga och kondens bildas / Den yttemperatur på kylbatteri som får vattenånga i luften att kondensera
Fläktvarvtal	Tilluftsfläktens rotationshastighet, styr storleken på luftflödet
Framledningstemperatur	Kylvattnets temperatur från kylmaskin innan inbladning av returvatten
Ingående lufttemperatur	Luftens temperatur innan det passerat kylbatteriet
Regleralternativ	De två studerade tekniska lösningarna för reglering: shuntreglering och flödesreglering
Kylvatten	Det cirkulerande vattnet i rörsystemet som används för att kyla luften i kylbatteriet
Relativ fuktighet	Mängden vattenånga i luften i förhållande till den maximala mängden vid en given temperatur
Returtemperatur	Kylvattnets temperatur efter att ha passerat kylbatteriet
Temperaturdifferens	Skillnaden i temperatur mellan två mätpunkter
Tilloppstemperatur	Kylvattnets temperatur vid inloppet på kylbatteriet
Tilluftstemperatur	Temperaturen på luften efter kylbatteriet

Symboler

Flödesschema



Cirkulationspump



Injusteringsventil



Avstängningsventil



Kylbatteri



Reglerventil



Backventil

Mollierdiagram



Tillståndsförändring flödesreglering



Tillståndsförändring shuntreglering



Tillståndsförändring flödesreglering ”extremfall”

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Inom svensk installationsteknik utgör installationen av shuntgrupper för temperatur- och flödesreglering av kylbatterier idag etablerad praxis. Trots detta väljer man i vissa system att endast använda flödesreglering till kylbatteriet. I dagsläget råder det viss osäkerhet kring varför shuntgruppen blivit det dominerande valet och det saknas oberoende studier som klargör vilket alternativ som är det optimala regleralternativet. I samarbete med Norconsult syftar denna studie till att utvärdera de olika regleralternativen med ett primärt fokus att undersöka deras påverkan på kylbatteriets avfuktningförmåga.

1.2 Syfte

Genom praktiska tillämpningar och teoretiska analyser syftar studien till att fördjupa kunskapen kring systemens skillnader avseende avfuktning. En testrigg konstrueras till ett kylbatteri med möjlighet att reglera vattenflöde och temperatur via en shuntgrupp respektive flödesreglering. Riggen utformas för att möjliggöra mätningar vars resultat ska kunna återskapas i simuleringsprogram och därefter jämföras. Målet är att framställa kvantitativa resultat som delvis kan fungera som underlag för framtida projekteringar vid val av reglering till kylbatterier.

1.3 Teori

Studiens teori är att flödesreglering kommer resultera i en lägre medeltemperatur på vattnet, vilket i sin tur leder till en lägre effektiv yttemperatur på kylbatteriet. Om yttemperaturen understiger luftens daggpunkt, kommer mer kondens bildas och därmed ge en ökad avfuktning. Fördelen med denna metod är att kondensationen främst sker vid kylbatteriet, där vattnet lättare kan fångas upp. Om tilluftens daggpunkt sänks, kan en lägre tilloppstemperatur på kylbafflar användas utan risk för oönskad kondensbildning i vistelsezoner.

1.4 Avgränsningar

Studien kommer inte behandla ett etiskt perspektiv då detta blir en teknisk undersökning. Studien kommer endast behandla fall med extremare fuktförhållanden för att få tydliga resultat. Eftersom

målet med arbetet huvudsakligen handlar om funktion och avfuktning jämförelser så kommer kostnader och materialbesparingar behandlas väldigt kort. Studien avgränsar sig till att endast undersöka shuntgruppens funktion för kylbatterier och inte andra luftbehandlingskomponenter.

1.5 Metod

För att skapa ett tillförlitligt underlag för studien har en kombination av teoretiska och praktiska arbetsmoment tillämpats. Arbetsprocessen inleddes med litteraturstudier för att inhämta fördjupad kunskap kring shuntreglering respektive flödesreglering. Litteraturstudierna användes som grund för att ta fram underlag för behov av kylning, krav på energieffektivisering samt komponenternas syfte i ett kylsystem.

Parallellt med litteraturstudier undersöktes olika simuleringsprogram för att möjliggöra jämförelser med laborationsmätningarna. Syftet var att virtuellt kunna skapa samma typ av tillstånd i programmen som vid labbtesterna. Det jämförande momentets syfte är att undersöka om simuleringar och labbtester kommer fram till liknande resultat. Även beräkningar i Mollierdiagram har genomförts för jämförelser.

Under projektets gång påbörjades konstruktionen och uppbyggnaden av en testrigg. Riggen utformades för att möjliggöra tester med både shuntreglering och flödesreglering. Ett önskat lufttillstånd på luften in i kylbatteriet uppnåddes med hjälp av luftbehandlingsaggregat som försörjde ett isolerat rum med luft och på så sätt kunde båda regleralternativen testas under identiska klimatförhållanden.

Efter färdigställandet av testriggen genomfördes en serie laborationstester. Det primära fokuset under laborationstesterna var att dokumentera avfuktningen vid respektive regleralternativ. Genom att variera parametrar som luftflöde, varvtal på cirkulationspump och öppningsgrad på injusteringsventiler olika fall skapas. Tillståndsparametrar före och efter kylbatteriet dokumenterades vid respektive test.

Användning av AI

I rapportskrivningens slutskede har Gemini 3 från Google använts för språkkontroll. Verket har uteslutande använts som ett stöd för att få feedback på grammatik och meningsbyggnad.

2 Teori

2.1 Kylning i byggnader

Dagens nybyggnationer och renoveringsprojekt konstrueras med högre krav på energieffektivitet. I kombination med den globala uppvärmningen och mer isolerade klimatskal har en tydlig trend vuxit fram där behovet av kylning ökar, mer än behovet av uppvärmning (Swegon, u.å. a).

Ett kylsystem tillgodoser byggnadens kylbehov för att säkerställa termisk komfort. I dessa system utgör kylbatterier ett av de vanligaste alternativen för kylning av tilluften med hjälp av kallvatten (Van den Brink & Kramer, 2025). För att kyla en byggnad eller yta behöver överskottsvärme transporteras bort. I Norden är luftburen kylning det vanliga alternativet vid lägre kylbehov, vilket bygger på principen att den distribuerade tilluften håller en lägre temperatur än den befintliga rumsluften (Swegon, u.å. b).

Vattenburen kyla tillämpas också i stor utsträckning för kylning. Vattenburen kyla innebär att överskottsvärme transporteras bort från rummet via vatten, till exempel via ett kylbaffelsystem (Swegon, u.å. b).

2.2 Kylbatteriets funktion

Kylbatterier är till sin konstruktion och material väldigt snarlika värmebatterier. En betydande skillnad är att kylbatterier kräver en större värmeöverförande yta. Detta på grund av att temperaturdifferensen mellan kylvattnet och luften är mindre än motsvarande differens vid värmning.

Kylning brukar kategoriseras som antingen våt- eller torr kyla. Vid våt kylning har det distribuerade kylvattnet en framledningstemperatur som understiger den omgivande luftens daggpunkt. Detta leder till att kondens bildas på kylbatteriet, vilket samlas upp i ett dropptråg och därefter leds bort via en dräneringsslang. Torr kylning innebär att framledningstemperaturen ständigt regleras så temperaturen på vattnet alltid hålls över luftens daggpunkt, och på detta sätt undviks kondensbildning (Swegon, u.å. b).

Som det kylbatteri som använts i denna studies laborationsmätningar, utgörs batteriet av kopparrör och i rören cirkulerar det kylda vattnet. För att öka värmeöverföringsytan på luftsidan är kopparrören

försedda med aluminiumflänsar placerade runt om rören. När den varma luften passerar genom batteriet sker en värmeöverföring där luften kyls ner av kylvattnet och vattnet värms upp av luften.

Vanligtvis leds vatten in i batteriet med en temperatur som understiger den inkommande luftens daggpunkt och brukar vara runt 5°C. Detta resulterar i att luften avfuktas genom att vattenångan i luften kondenserar och kondens bildas på kylbatteriet. Avfuktningen leder till stora mängder kondens som behöver föras bort, vilket ofta kräver att kylbatteriet förses med ett speciellt avlopp som ansluts till spillvattensystemet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.3 Termisk komfort

Termisk komfort avser hur inomhusklimatet upplevs av individen. De huvudsakliga faktorerna som påverkar den termiska komforten är lufttemperatur, strålningstemperatur, lufthastighet och luftfuktighet. Även individens klädsel och aktivitetsnivå är påverkande faktorer. I Boverkets byggregler finns krav på byggnader och dess installationer. Ventilation, värme och kyla behöver utformas så kraven för termisk komfort uppfylls (Boverket, 2025c).

Det finns ingen exakt temperatur en byggnad ska ha för att termisk komfort ska uppnås. Detta då olika individer upplever termisk komfort olika. Men den upplevda termiska komforten följer ofta en ungefärlig normalfördelning och på så sätt kan man komma fram till en temperatur som tillfredsställer majoriteten. (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

2.4 Luftfuktighet

Att kyla fuktig luft kräver generellt mer energi än torr luft. Detta beror på att entalpin, luftens totala energiinnehåll, ökar i samband med fukttinnehållet. Den relativa fuktigheten anger mängden vattenånga som finns i luften i relation till den maximala mängden fukt luften kan bära vid en viss temperatur. (Wern, 2013).

Fukttinnehållet i luften varierar stort mellan de olika årstiderna i Sverige. Det absoluta fukttinnehållet är betydligt högre på sommaren än på vintern, men den relativa luftfuktigheten är ofta lägre (Wern, 2013). Detta eftersom den relativa luftfuktigheten är direkt kopplad till temperaturen och en högre temperatur har en högre mätnadsånghalt. Inomhus vill man ha ungefär samma temperatur året runt vilket leder till en låg relativ luftfuktighet på vintern och hög relativ fuktighet på sommaren. Om luften når en relativ luftfuktighet på nära 100% så bildas det kondens som kan leda till fuktskador i byggnader.

Luftens absoluta fuktighet bestämmer också daggpunktstemperaturen, vilket påverkar vilken framledningstemperatur man kan använda i en byggnads kylbafflar. För att förhindra att kondens bildas, måste en framledningstemperatur användas som är högre än rumsluftens daggpunktstemperatur.

Magnus formel

Beräkning av avfuktning kan göras på flera olika sätt. Ett av de mest precisa sätten är att beräkna det absoluta fukttinnehållet x [kg/kg] med Magnus formel. Skillnad i det absoluta fukttinnehållet Δx [kg/kg] kan räknas ut med hjälp av följande ekvation:

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{RF_{innan} \cdot 611,2 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t_{innan}}{t_{innan} + 243,12}\right)}}{101325 - (611,2 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t_{innan}}{t_{innan} + 243,12}\right)})}$$

$$x_2 = 0,622 \cdot \frac{RF_{efter} \cdot 611,2 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t_{efter}}{t_{efter} + 243,12}\right)}}{101325 - (611,2 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t_{efter}}{t_{efter} + 243,12}\right)})}$$

$$\Delta x = x_1 - x_2$$

RF_{innan}	Relativ fuktighet innan kylbatteri [%]
RF_{efter}	Relativ fuktighet efter kylbatteri [%]
t_{innan}	Luftens temperatur innan kylbatteriet [°C]
t_{efter}	Luftens temperatur efter kylbatteriet [°C]
x_1	Vatteninnehåll i luft före kylbatteri [kg/kg]
x_2	Vatteninnehåll i luft efter kylbatteri [kg/kg]
Δx	Skillnad i luftens vatteninnehåll [kg/kg]

För att sedan få det uttryckt i enheten l/h så används följande ekvation:

$$V_{vatten} = \Delta x \cdot V_{luft} \cdot \rho_{luft}$$

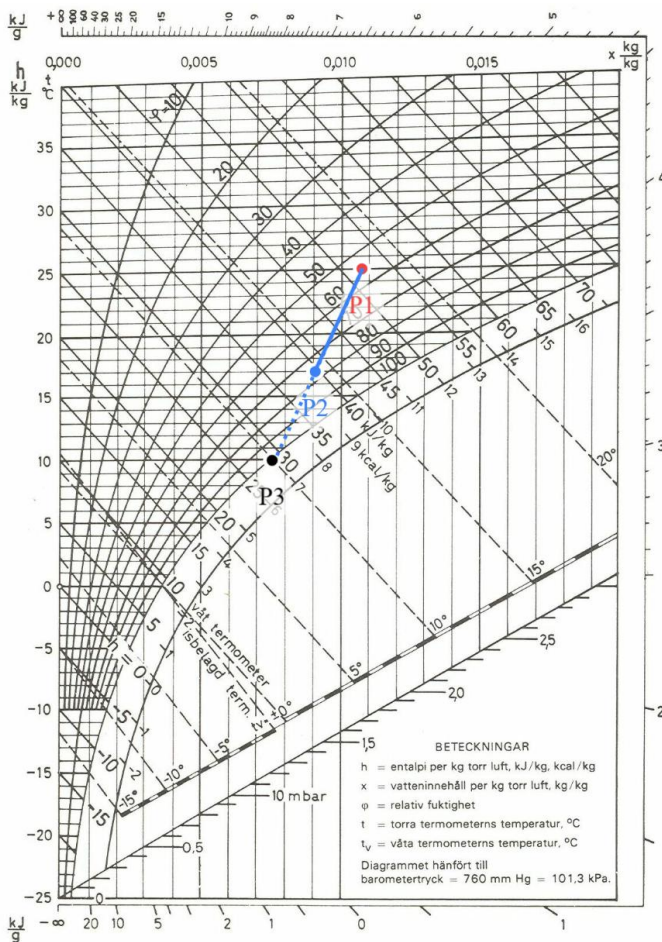
\dot{V}_{vatten}	Vattenflöde [kg/h] = [l/h]
Δx	Skillnad i luftens vatteninnehåll [kg/kg]
ρ_{luft}	Luftens densitet [kg/m ³]
V_{luft}	Luftflöde [m ³ /h]

Mollierdiagram

För att ta fram kylbatteriets effektiva ytttemperatur (t_{eff}) kan Mollierdiagram användas. Genom att rita ut en rät linje från utluftstillståndet till tilluftstillståndet vidare till 100% RF kan den effektiva ytttemperaturen tas fram.

Där den räta linjen möter 100% RF bildas en punkt som motsvarar den effektiva ytttemperaturen (t_{eff}). Figur 2.1 visar exempel på en grafisk beräkning där:

- P1: Ingående lufttillstånd
- P2: Tilluftstillstånd
- P3: Effektiv yttemperatur (t_{eff})



Figur 2.1: Exempel på grafisk beräkning i Mollierdiagram

I denna studie kommer samtliga simulering- och labbresultat redovisas i Mollierdiagram. Den effektiva ytttemperaturen vid labbtester har uppskattats genom Mollierdiagram men redovisas i tabell.

2.5 Energianvändning i byggnader

EU har som mål att uppnå klimatneutralitet till år 2050. Enligt kommissionen står byggnader för nästan 40% av den totala energianvändningen i EU, vilket gör byggsektorn till en av de största energikonsumenterna (Europaparlamentet och Europeiska unionens råd [EP & rådet], 2023).

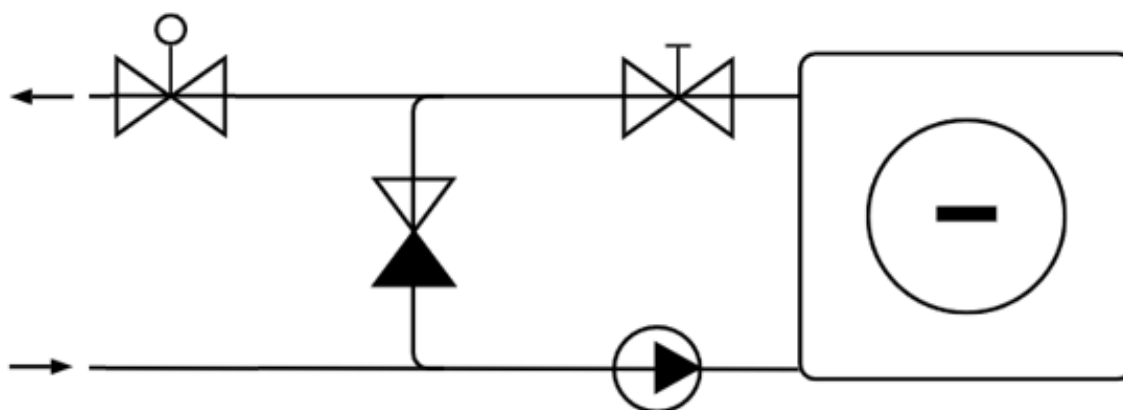
I Sverige 2022 stod byggsektorns energianvändning för 34% av Sveriges totala energianvändning (Boverket, 2025a). Sverige har nu mål för byggnaders energianvändning enligt EU:s energipolitiska mål, med en energieffektivisering på 50% år 2030 jämfört med 2005 (Boverket, 2025b).

I och med förändrade klimatförhållanden som pekar på en temperaturökning i Sverige kommer även energianvändningen för kylning att öka (Labriet et al., 2015). Därav kommer energieffektivisering av kylsystem behöva tas i beaktning inför klimatneutralitet 2050. Energin vid uppvärmning för lokaler och bostäder har minskat i samband med förbättrade klimatskal, effektiva värmesystem och strängare energikrav för nybyggnation. Energi för kylning har i stället ökat och efterfrågas till allt från kontor, lokaler och bostäder. I och med klimatförändringar och ökade utomhustemperaturer förväntas luftkonditioneringsanläggningar att öka under de kommande decennierna för att uppnå termisk komfort (Energimyndigheten, 2024).

2.6 Komponenter i shuntgrupp

Shuntgrupper kan konstrueras på olika sätt med olika komponenter och varierar ofta i sitt fysiska utförande beroende på syfte och tillämpning. Den testrigg som har byggts upp för dessa labbtester skiljer sig från de shuntgrupper som vanligtvis förekommer och används. Den primära skillnaden är att alla komponenter styrdes manuellt, medan verkliga shuntgruppers komponenter vanligtvis styrs automatiskt via ett styrsystem. Komponenterna som förekommer i en traditionell shuntgrupp är följande:

- *Reglerventil*
- *Cirkulationspump*
- *Injusteringsventil*
- *Backventil*
- *Avstängningsventil*



Figur 2.2: Flödesschema för en traditionell shuntgrupp

Reglerventil

En reglerventils primära funktion är att reglera vätskeflödet i ett rörsystem. I en shuntgrupp används den för att kunna reglera temperatur, tryck eller flöde i systemet. Genom att justera öppningsgraden på reglerventilen, vanligtvis med hjälp av en motor, kan flödet i rörsystemet regleras. (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Cirkulationspump

Cirkulationspumpens uppgift är att kompensera för de tryckförluster som rör och komponenter i det primära och sekundära systemet skapar i en shuntgrupp. Genom att ändra pumpens varvtal kan vattenflödet regleras. Vanligtvis placeras pumpen på sekundärkretsen på tillloppssidan, då det underlättar för avluftning (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Injusteringsventil

Injusteringsventilens huvudsakliga funktion i en shuntgrupp är att balansera och ställa in vattenflödet. För att kunna se till att systemet uppnår det önskade flödet krävs det att vattenflödet genom dessa ventiler kan mätas (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Backventil

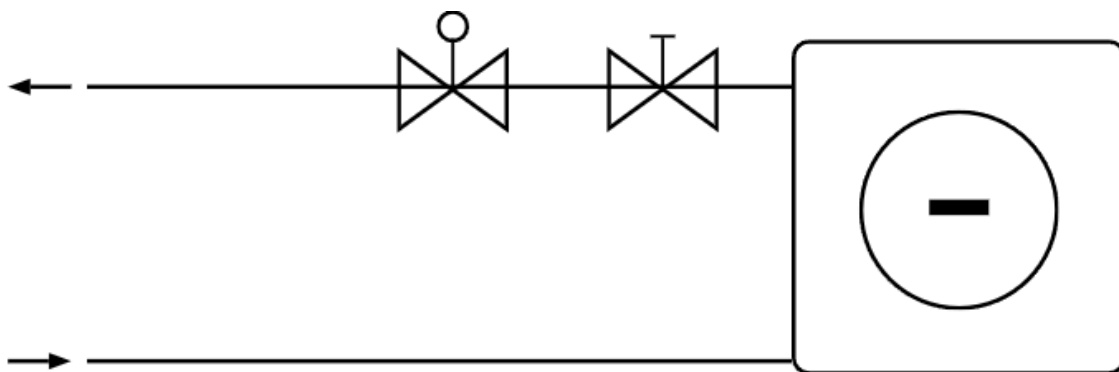
Backventilens uppgift i shuntkopplingar är att hindra vatten från att strömma i fel riktning. Backventilen släpper fram vattnet i rörsystemet i enbart en riktning och stängs när flödet försöker strömma åt andra hållet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Avstängningsventil

Avstängningsventiler används främst för att på ett lätt sätt vid behov av reparationer kunna avskilja komponenter från rörkretsen. I stängt läge krävs det att den är tät och vid öppet läge får den inte orsaka för stort tryckfall. Vanliga avstängningsventiler är kulventiler, kilslidsventiler och nålventiler (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.7 Komponenter vid flödesreglering

Komponenter vid flödesreglering skiljer sig från shuntreglering, genom att flödesreglering kräver ett mindre antal komponenter. I Figur 2.3 illustreras konceptet för flödesreglering samt dess ingående komponenter.



Figur 2.3 Flödesschema för traditionell flödesreglering

3 Beräkningar och tester i olika simuleringsprogram

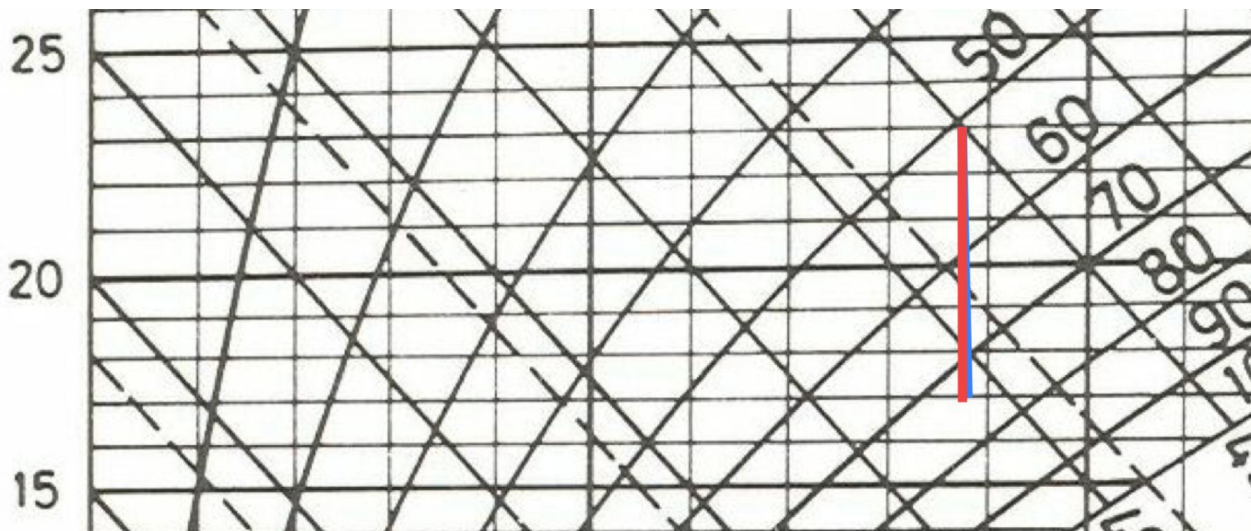
För att kunna undersöka skillnader i luftens tillstånd efter ett kylbatteri, beroende på om det shunt- eller flödesregleras, gjordes ett flertal beräkningar i olika simuleringsprogram. Detta gjordes för att kunna identifiera ett program som kunde återskapa liknande fall som skulle utföras vid laborationstesterna. De program som tester utfördes i var IV Produkt Designer (u.å.), Swegon AHU Design (2025) och Fläktgroup Acon (u.å.). Det framgick dock tidigt att vissa av programmen hade stora begränsningar som gjorde att dessa tester inte kunde fungera som underlag till denna studie. Detta var förväntat då programmets primära syften är produktval och inte experimentella studier. I både IV Produkt Designer och Swegon AHU Design saknades möjligheter att styra kylbatteriets regleralternativ. Acon hade ett mer avancerat simuleringsprogram där fler av de relevanta parametrarna kunde justeras.

Resultaten redovisas i Mollierdiagram där avfuktningen jämförs mellan flödes- och shuntreglering.

3.1 IV Produkt Designer

Vid de inledande simuleringarna i IV Produkt Designer uppnåddes inga önskade resultat. Felkällorna bedöms vara stora, främst eftersom många faktorer som önskades justeras var låsta. De parametrar som justerades vid testerna var inkommande vattentemperatur och utgående vattentemperatur och i Tabell 3.1–3.3 presenteras de värden som programmet räknade fram inom parentes. Resultaten har jämförts med förväntad luftfuktighet enligt Mollierdiagrammen i Figur 3.1–3.3.

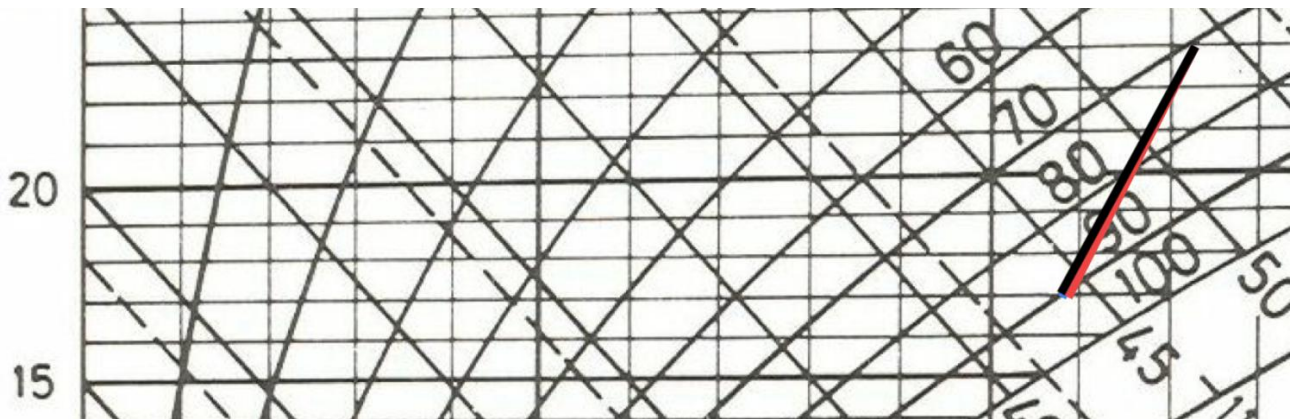
För att undersöka programmets tillförlitlighet för denna typ av tester, utfördes ett orealistiskt extremfall med en inkommande vätsketemperatur på 1°C för att se om avfuktningen blev större vid ett sådant fall. Resultatet visade att avfuktningen knappt blev större även vid detta fall. En slutsats som kan dras är därmed att programmets beräkningsmodell för kylbatteriers avfuktning troligtvis är förenklad och inte tar någon hänsyn till vätsketemperaturen.



Figur 3.1: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från IV Produkt Designer. Ingående lufttillstånd 23°C och en relativ fuktighet på 50%..

Ingående lufttillstånd 23 °C 50% RF						
Simulerad reglering	$\Delta t_{\text{vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{medel, vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$\dot{V}_{\text{vatten}} [\text{l/s}]$	$\Delta x [\text{kg/kg}]$	$t_{2\text{luft}} [^{\circ}\text{C}]$	
Flödesreglering	7.0-13.7	10.4	0.26	-0.00006	17	
Shuntreglering	12.7-16.1	14.1	0.52	-0.00001	16.9	

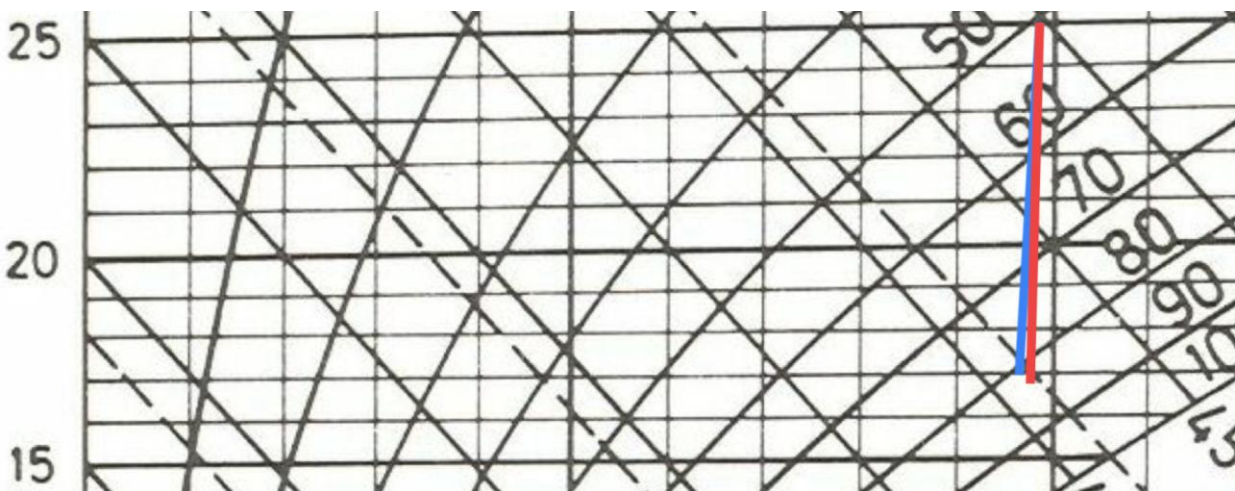
Tabell 3.1: Indata och resultat vid jämförelse av flödesreglering och shuntreglering med data från IV Produkt Designer vid ingående lufttillstånd 23°C och en relativ fuktighet på 50%.



Figur 3.2: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från IV Produkt Designer. Ingående lufttillstånd 23°C och en relativ fuktighet på 70%.

Ingående lufttillstånd 23 °C 70% RF					
Simulerad reglering	$\Delta t_{\text{vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{medel, vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$\dot{V}_{\text{vatten}} [\text{l/s}]$	$\Delta x [\text{kg/kg}]$	$t_{2\text{luft}} [^{\circ}\text{C}]$
Flödesreglering	7-14.1	10.6	0.4	0.00148	16.9
Shuntreglering	9.8-15.0	12.4	0.52	0.00141	17
Flödesreglering (överkligt extremfall)	1.0-10.6	5.8	0.29	0.00147	17.1

Tabell 3.2: Indata och resultat vid jämförelse av flödesreglering och shuntreglering med data från IV Produkt Designer vid ingående lufttillstånd 23°C och en relativ fuktighet på 70%



Figur 3.3: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från IV Produkt Designer. Ingående lufttillstånd 25°C och en relativ fuktighet på 50%.

Ingående lufttillstånd 25 °C 50% RF					
Simulerad reglering	$\Delta t_{\text{vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{medel, vatten}} [^{\circ}\text{C}]$	$\dot{V}_{\text{vatten}} [\text{l/s}]$	$\Delta x [\text{kg/kg}]$	$t_{2\text{luft}} [^{\circ}\text{C}]$
Flödesreglering	7.0-14.5	10.8	0.33	0.00021	17
Shuntreglering	11.0-15.7	13.4	0.52	0.00009	16.8

Tabell 3.3: Indata och resultat vid jämförelse av flödesreglering och shuntreglering med data från IV Produkt Designer vid ingående lufttillstånd 25°C och en relativ fuktighet på 50%

3.2 Swegon AHU Design

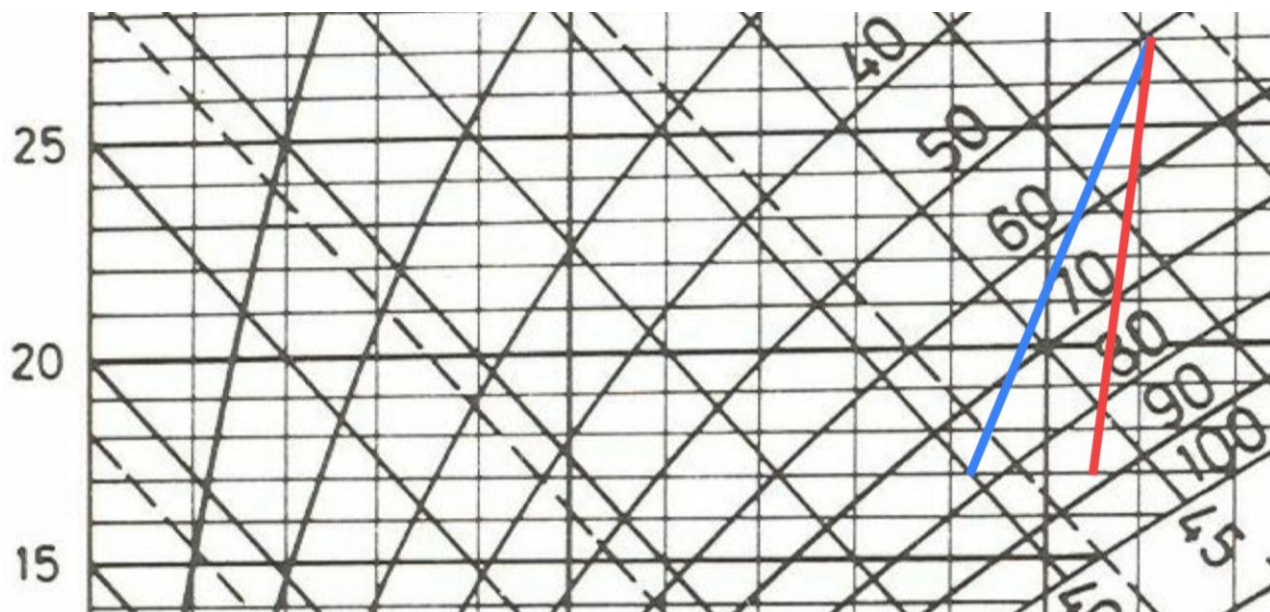
Simuleringar som utfördes i Swegon AHU Design gav inte heller önskat resultat. Likt de tester som utfördes i IV Produkt Designer, bedömdes felkällorna även i detta fall vara stora och resultaten som osäkra. I AHU Design kunde ingående och utgående vätsketemperatur bestämmas, varefter vattenflödet justerades automatiskt utifrån de ingående temperaturerna som ställdes in. Programmet gav samma luftfuktighet vid samtliga tester, vilket bedöms som osannolikt. Ingående lufttillstånd var 23°C med en relativ fuktighet på 50% och batteriets storlek gick inte att ändra. Dessa två simuleringsprogram bedöms därför inte vara tillämpbara för de typer av tester som genomförts.

3.3 FläktGroup Acon

Avslutningsvis genomfördes simuleringar i FläktGroup Acon. Till skillnad från de tidigare programmen gav Acon resultat som bedömdes vara betydligt mer rimliga och som stämmer överens med den underliggande teorin för denna studie. Avfuktningen blev större med en lägre medeltemperatur på vattnet. Resultaten från simuleringarna bedöms som tillförlitliga och det är värdena som tagits fram med hjälp av Acon som kommer att jämföras med de fysiska mätresultaten. Följande körningar har utförts innan laborationsmätningarna, främst för att få en förståelse för programvaran. Därav kommer vissa parametrar under dessa tester inte att stämma helt överens med den indata som togs fram under de fysiska mätningarna, då förutsättningarna fortfarande var obestämda för laborationen.

I följande avsnitt presenteras tre simuleringsresultat från Acon. För att tydliggöra resultaten presenterar tabellerna nedan de mest kritiska parametrarna med avseende på avfuktning. För fullständiga tabeller från samtliga simuleringar, se Appendix A.

Första simuleringstestet i Acon



Figur 3.4: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från Acon med ingående lufttillstånd 27°C och en relativ fuktighet på 50%.

Air cooler for chilled water		
Output	17.9	kW
Air temperature	27 / 17	°C
Relative humidity	50 / 76.3	%
Water temperature	7 / 9	°C
x1	0,0111	kg/kg
x2	0,009	kg/kg
Δx	0,0019	kg/kg
Amount of condensation	8,31	l/h

Tabell 3.4: Första körningen med flödesreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å.)

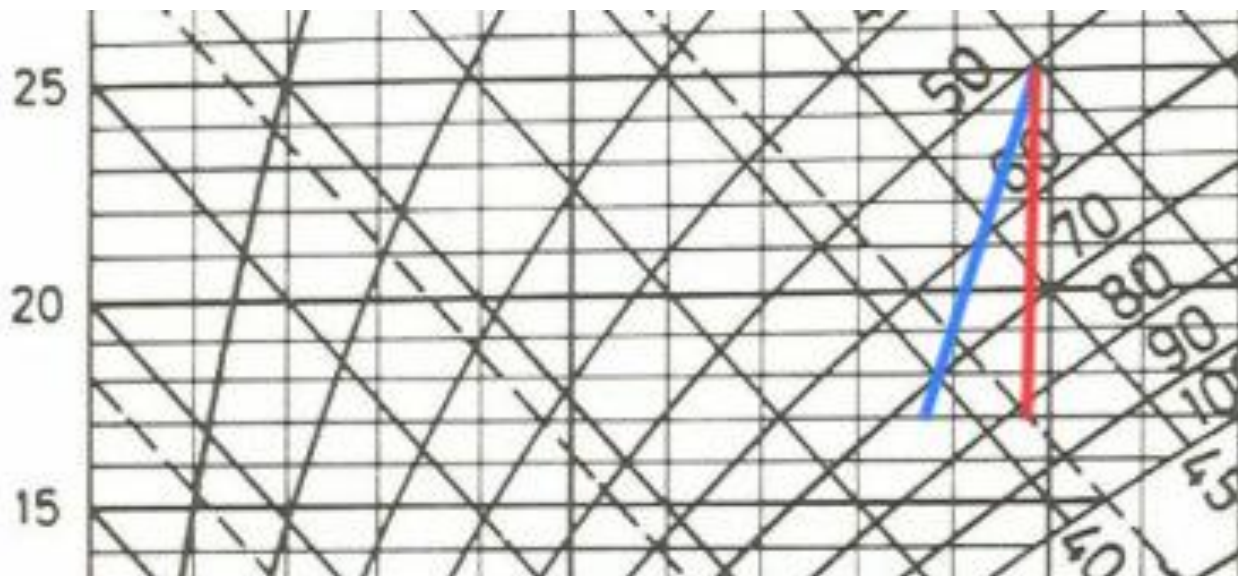
Air cooler for chilled water		
Output	14.1	kW
Air temperature	27 / 17	°C
Relative humidity	50 / 87	%
Water temperature	10 / 15	°C
x1	0,0111	kg/kg
x2	0,0105	kg/kg
Δx	0,0006	kg/kg
Amount of condensation	2,65	l/h

Tabell 3.5: Första körningen med shuntreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å.)

Första körningen som utfördes justerades ingående lufttemperatur, ingående relativa fuktighet och utgående lufttemperatur. Den ingående temperaturen valdes som 27°C, med en relativ fuktighet på 50%. Den önskade utgående temperaturen sattes som 17°C och tilluftsflödet som 1000 l/s. För att få simuleringarna att utföra tester för både flödesreglering och shuntreglering så justerades tilllopps- och returtemperatur på vattnet. I programmet gick det även att välja att lägga till en shuntgrupp till kylbatteriet. Dock hade detta ingen direkt påverkan i resultatet utan var en funktion för att få fram lämplig storlek på komponenter i shuntgruppen. Men genom att tilllopps- och returtemperatur på vattnet ändrades så simulerades shuntregleringen respektive flödesregleringen korrekt ändå.

Andra simuleringstestet

Den andra körningen som utfördes ändrades ingående lufttemperatur till 25°C, medan den relativa fuktigheten och utgående temperatur förblev densamma som under första körningen. Även vattentemperaturerna behölls samma som under den föregående körningen.



Figur 3.5: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från Acon med ingående lufttillstånd 25°C och en relativ fuktighet på 50%.

Air cooler for chilled water		
Output	13,20	kW
Air temperature	25 / 17	°C
Relative humidity	50 / 72,1	%
Water temperature	7 / 9	°C
x1	0,0099	kg/kg
x2	0,0087	kg/kg
Δx	0,00118	kg/kg
Amount of condensation	5,09	l/h

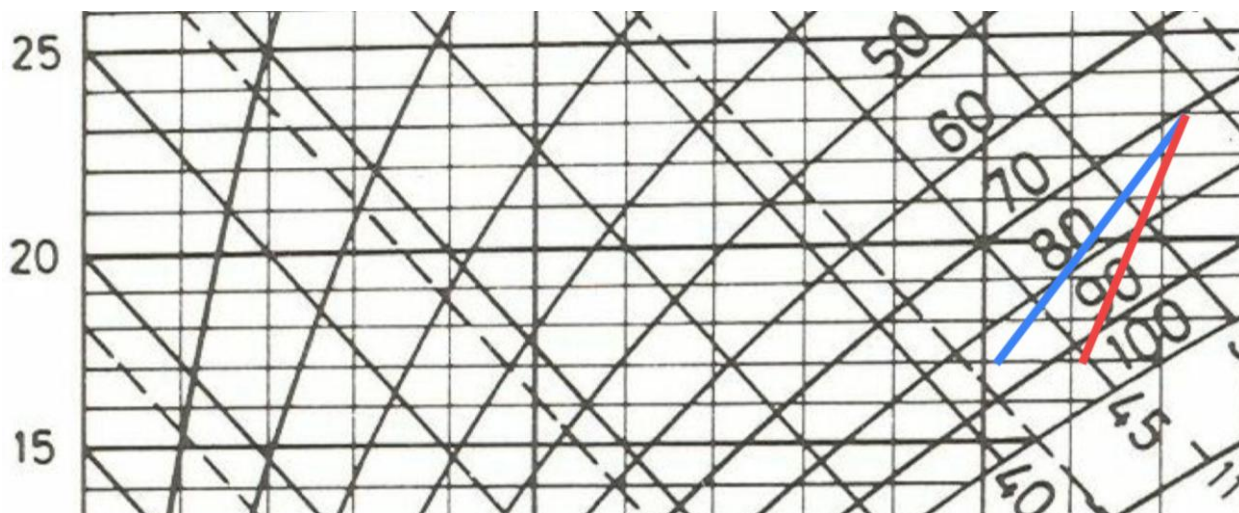
Tabell 3.6: Andra körningen med flödesreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å)

Air cooler for chilled water		
Output	10,00	kW
Air temperature	25 / 17	°C
Relative humidity	50 / 81	%
Water temperature	10 / 15	°C
x1	0,0099	kg/kg
x2	0,0098	kg/kg
Δx	0,0001	kg/kg
Amount of condensation	0,39	l/h

Tabell 3.7: Andra körningen med shuntreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å)

Tredje simuleringstestet

Under den tredje körningen bestämdes en ingående lufttemperatur på 23°C med en relativ fuktighet på 70%. Den utgående lufttemperaturen hölls oförändrad på 17°C. Vattentemperaturerna för respektive alternativ behölls samma som under tidigare körningar.



Figur 3.6: Resultat i Mollierdiagram med ingående data från Acon med ingående lufttillstånd 23°C och en relativ fuktighet på 70%

Air cooler for chilled water		
Output	13,70	kW
Air temperature	23 / 17	°C
Relative humidity	70 / 84,1	%
Water temperature	7 / 9	°C
x1	0,0123	kg/kg
x2	0,0101	kg/kg
Δx	0,0021	kg/kg
Amount of condensation	9,23	l/h

Tabell 3.8: Tredje körningen med flödesreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å.)

Air cooler for chilled water		
Output	10,80	kW
Air temperature	23 / 17	°C
Relative humidity	70 / 92	%
Water temperature	10 / 15	°C
x1	0,0123	kg/kg
x2	0,0111	kg/kg
Δx	0,0012	kg/kg
Amount of condensation	5,04	l/h

Tabell 3.9: Tredje körningen med shuntreglering i Acon med beräknad kondens enligt Magnus formel (FläktGroup, u.å.)

Sammanställning av simuleringresultat i Acon

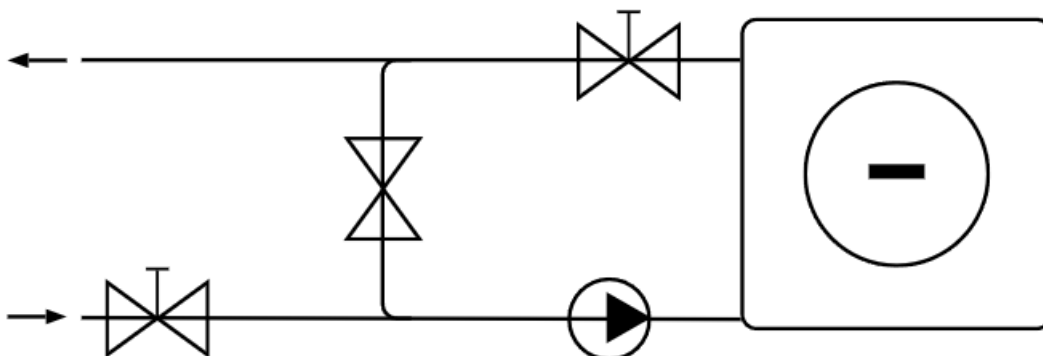
Resultaten från simuleringarna visar genomgående att flödesreglering resulterar i en större avfuktning än shuntreglering. Detta stämmer överens med teorin om att en lägre medeltemperatur på vattnet i kylbatteriet leder till ökad avfuktning.

Sammanställning kondens			
Test Nr.	Flödesreglering	Shuntreglering	
1	8,31	2,65	l/h
2	5,09	0,39	l/h
3	9,23	5,04	l/h

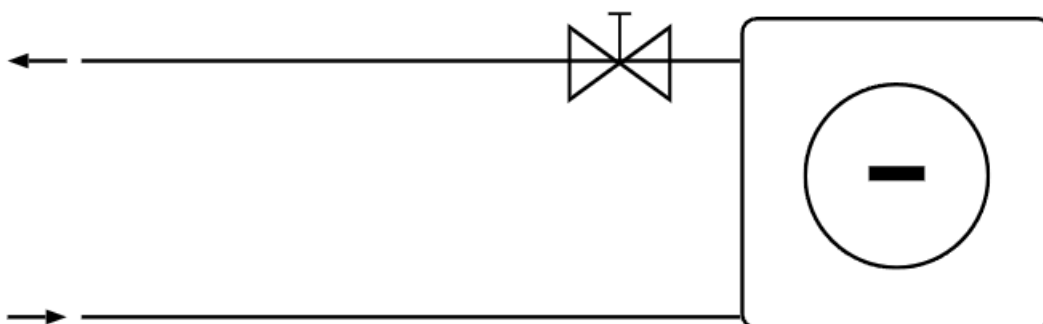
Tabell 3.9: Sammanställning av mängd kondens vid simuleringar i Acon.

4 Fysiska labbmätningar

Uppbyggnaden av provriggen och tillhörande laborationsförsök genomfördes vid avdelningen för Installationstekniks labb på Chalmers campus Johanneberg. Det kylbatteri som användes i samtliga tester är ett VEAB-batteri av modell CWK125-3-2.5. Shuntgruppens komponenter bestod av två injusteringsventiler (STAD 15/14), en cirkulationspump från Wilo samt en avstängningsventil.



Figur 4.1: Flödesschema för shuntreglering under labbtester



Figur 4.2: Flödesschema för flödesreglering under labbtester

Under testerna användes en av injusteringsventilerna som reglerventil för att styra vattenflödet. Avstängningsventilen användes i denna provrigg istället för en backventil, för att möjliggöra återcirkulation av returvattnet. Samtliga tester utfördes under stationära förhållanden, vilket innebar att reglering av vattenflöde och temperaturer har hanterades manuellt. För att kunna mäta vattentemperaturerna på tillopps- och retursidan placerades dykrör i rörsystemet enligt bild 4.1

Riggen konstruerades för att enkelt kunna demonteras för att frigöra utrymme för andra med behov av att nyttja labbet.

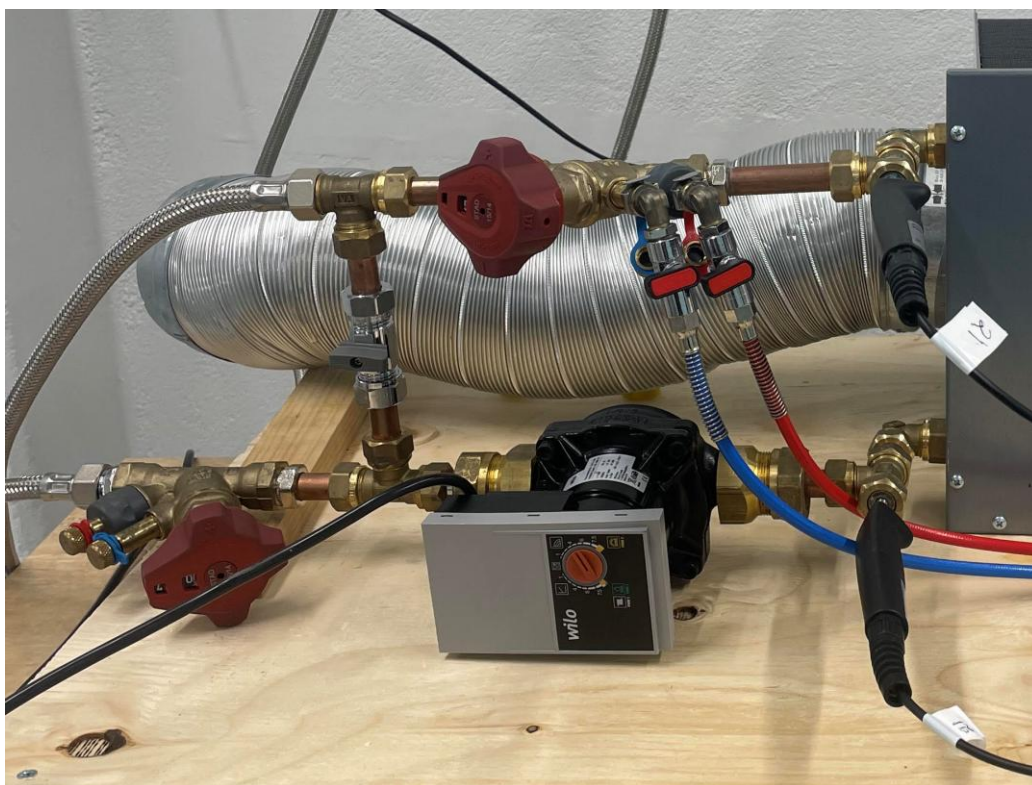


Bild 4.1: Shuntgrupp till kylbatteri med pump, avstängningsventill, två injusteringsventiler samt dykrör med mätinstrument

Konstruktion av labbtestrigg

Den praktiska delen inför laborationsmätningarna inleddes med en uppbyggnad och montering av riggen. Arbetet påbörjades med att montera ihop shuntgruppen, där en inventering av rördimensioner och tillgängliga komponenter utfördes för att kunna införskaffa kompletterande material. Ett tätt system krävdes, och för att inte riskera att vattenläckage förseglades samtliga gängade rörkopplingar med gängtejp.

Riggen anslöts till försökshallens befintliga kylvatten-system. För att få bort luft i systemet monterades en avluftningsventil. Inför laborationsmätningarna genomfördes en avluftning av hela systemet för att säkerställa att luft inte skulle kunna påverka mätresultaten.

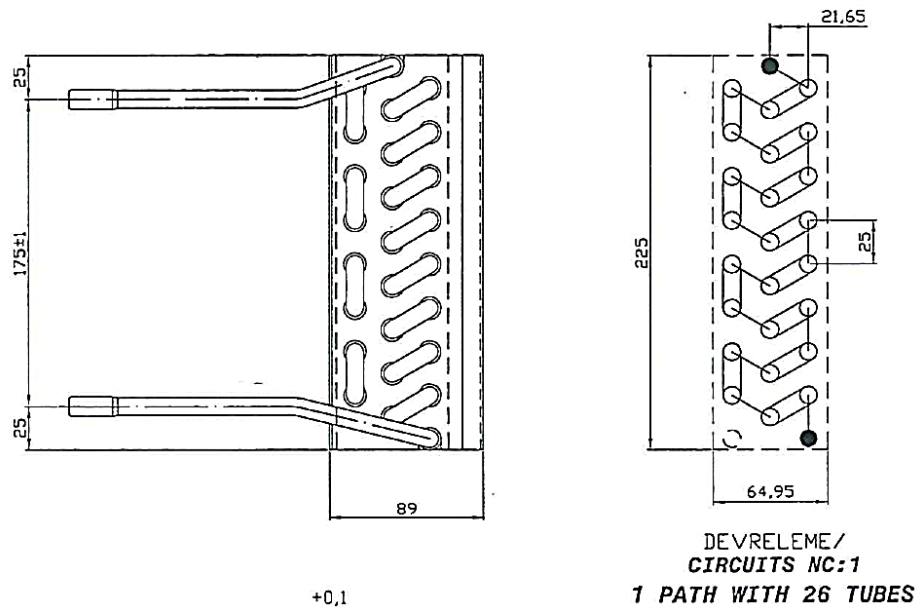


Bild 4.2: Avluftningsventil påkopplad till returvattenledning

Kylbatteriet och shuntgruppen placerades på en rullvagn, och för att ansluta dem till de befintliga kylvattenanslutningarna användes flexslangar. För att möjliggöra både flödesreglering och shuntreglering användes en avstängningsventil. Denna lösning underlättade en smidig växling mellan reglermetoderna under testerna. När avstängningsventilen stängdes tillämpades flödesreglering, och när den öppnades kunde shuntreglering genomföras. Avstängningsventilen placerades efter injusteringsventilen på retursidan för att skapa förutsättningar för en korrekt återcirkulation där returvattnet kunde blandas med det inkommande tilloppsvattnet.

Flödesriktning genom kylbatteri

Den optimala flödesriktningen för vattnet genom kylbatteriet beror på batteriets design. Ritningar över kylflänsarna och kopparrören enligt Figur 4.3 visar att rören är dragna i ett sicksackmönster. Denna utformning medför att vattenflödets riktning inte påverkar kylningen. Av denna anledning bestämdes flödesriktningen enbart med hänsyn till att underlätta systemets avluftning. Batteriets undre anslutning valdes därmed som tillopp och den övre som retur.



Figur 4.3: Ritning på kylbatteriets (VEAB CWK125-3-2.5) inre rörkoppling (VEAB, u.å.)

Mätinstrument

För att kunna utföra mätningar av flöde och temperaturer i rörsystemet användes mätinstrumenten IMI TA DpS-Visio och IMI TA-SCOPE tillsammans med installerade dykrör. Med hjälp av denna utrustning kunde vattenflödet och temperaturer på tillopps- och retursidan registreras. Mätpunkterna för vattentemperaturer placerades i direkt anslutning till kylbatteriets in- och utlopp för att kunna avläsa den inkommande och utgående vattentemperaturen.

Skapande av rätt lufttillstånd

Eftersom labbtesterna genomfördes under våren var lufttillståndet utomhus inte tillräckligt varmt och fuktigt för att kunna uppnå de önskade värdena inomhus under försöken. Därför skapades det önskade lufttillståndet i labbets glasade testrum, där den ingående luften till kylbatteriet hämtades.

För att uppnå önskat klimat i testrummen användes luftbehandlingsaggregat som var utrustade med värmebatteri och fuktare, som kontinuerligt tillförde luft med önskat lufttillstånd till testrummen. Det önskade klimattillståndet för mätningarna motsvarade en varm sommardag i Sverige, vilket uppskattades till 25°C med en relativ fuktighet på 50%.

Kanalsystem

När shuntgruppen var färdigmonterad konstruerades ett kanalsystem mellan det inglasade testrummet och kylbatteriet. En fläkt placerades i testrummet för att transportera den fuktiga och varma luften till kylbatteriet.



Bild 4.3: Tilluftsläkt med tillhörande kanalsystem från provrum till aggregat

För att möjliggöra mätning av luftens tillstånd borrades mätuttag i ventilationskanalen. För att mäta luftens temperatur och relativa fuktighet användes ett mätinstrument av modellen Testo 440 dP, som placerades före och efter batteriet.



Bild 4.4: Mätning lufttillstånd innan kylbatteri ($t_{1,luft}$)



Bild 4.5: Mätning lufttillstånd efter kylbatteri ($t_{2,luft}$)

Samma mätinstrument användes även för att kunna mäta luftflödet i kanalsystemet. För att kunna reglera luftflödet till kylbatteriet installerades ett injusteringspjäll av modellen IRIS 100 ORIGINAL. Genom att justera spjällets öppningsgrad kunde en inställningsposition avläsas. Utifrån denna inställningsposition kunde en motsvarande k-faktor bestämmas med hjälp av spjällets referenstabell.

För att beräkna flödet anslöts två mätslangar till spjället, som därefter kopplades till mätinstrumentet. Slangarna mätte ett differenstryck över spjället, och genom att mata in den aktuella k-faktorn från spjällets referenstabell i Testo 440 dP, beräknade instrumentet automatiskt luftflödet till kylbatteriet.



Bild 4.6: Spjäll av modell IRIS 100 ORIGINAL

4.1 Komplikationer inför labbmätningar

Under förberedelserna inför mätningarna uppstod vissa praktiska utmaningar med att uppnå och stabilisera det önskade lufttillståndet i provrummet. Det kunde konstateras att tilluftskanalerna saknade isolering och potentiellt medgav värmeförluster som försvårade möjligheterna att uppnå önskat klimat. Det upptäcktes även vissa otätheter i provrummet, vilket resulterade i att tilluften läckte ut ur rummet och försvårade möjligheten att nå rätt lufttillstånd.

För att försöka komma runt detta problem genomfördes tester där parametrar som fläktvarvtal och tilluftens fukttinnehåll på tilluftssystemet justerades. Det kunde till slut konstateras att oavsett inställningar var aggregatets kapacitet otillräcklig på grund av värme- och fuktförlusterna.

Lösningen blev därmed att nyttja två luftbehandlingsaggregat och använda båda provrummen. Genom detta kunde önskat klimat uppnås och upprätthållas. Under mätningarna var aggregaten inställda på ett tilluftsflöde på 230 l/s per aggregat, med en framledningstemperatur på 25°C och en relativ fuktighet på 80%.

Anledningen till att börvärdet för fukten sattes så pass högt jämfört med det önskade värdet på 50% var för att skapa det önskade klimatet snabbare samt kompensera för otätheterna. På grund av det

kontinuerliga läckaget nådde den relativa fuktigheten som högst 60% och dessa inställningar bedömdes därmed som optimala utifrån förutsättningarna och bibehölls under laborationstesterna.



Bild 4.7: Tilluftsaggregat som användes för att uppnå önskat lufttillstånd i provrummen

4.2 Sammanställning av mätdata

När shuntgruppen var färdigmonterad och kanalsystemet på plats utfördes ett flertal mätningar för att kunna resonera kring resultatens rimlighet. Resultaten jämfördes därefter med resultat från simuleringarna i Acon för att undersöka ifall metoderna fick liknande resultat för att på så sätt kunna minimera felmarginalerna. All data från de fysiska mätningarna antecknades i Excel där parametrar som lufttillstånd, vattentemperaturer, flöden och mängden kondensation togs fram och beräknades för respektive regleralternativ. Denna sammanställning utgjorde sedan basen för den kvantitativa analysen av kylbatteriets avfuktningförmåga för respektive alternativ.

4.3 Osäkerheter vid labb

Aggregaten hade problem med att tillföra en jämn temperatur på tilluften, vilket gjorde att aggregaten emellanåt kylde luften när styrsystemet kompenserade för att ha värmt för mycket. Detta märktes tydligt på mätningarna då fukten och temperaturen på tilluften till riggen plötsligt sjönk drastiskt. När detta uppmärksammades avvaktades mätningarna tills lufttillståndet stabiliserats igen.

Denna omständighet skapade en viss osäkerhet, vilket kan ha påverkat mätresultaten och deras pålitlighet.

En avvikelse som upptäcktes under labbtesterna som påverkade resultatet var att tilloppstemperaturen i labbet var högre än önskat. Vattentemperaturen uppgick till 10–11°C istället för cirka 7°C, vilket var den vattentemperatur som testerna ursprungligen hade planerats för. Detta medförde att det blev svårare att uppnå en lägre yttemperatur på kylbatteriet, vilket resulterade i att mängden avfuktning blev mindre än förväntat. Resultaten kan fortfarande påvisa om teorin stämmer, men skillnaden mellan shuntreglering och flödesreglering blir mindre.

Flödet på tilloppssidan justerades manuellt via en injusteringsventil, vilket är något som bör ses över och som kan ha påverkat mätningarnas korrekthet.

4.4 Genomförandet av labbtester

Under laborationen genomfördes flera tester med olika ingående lufttillstånd och flöden, samt olika målvärden på utgående lufttillstånd. För att uppnå de olika målvärdena för utgående lufttillstånd krävdes en grundläggande förståelse för hur riggens komponenter påverkade lufttillståndet. Därav genomfördes ett antal tester som endast gick ut på att skapa förståelse för regleringen. Detta var nödvändigt då all reglering under laborationstesterna utfördes manuellt, till skillnad från verkliga system där styr- och reglerprocesser hanteras automatiskt av en DUC (Dataundercentral). Under dessa tester klargjordes vilka parametrar som krävde justering för att reglera omblandningen i shuntgruppen, temperaturdifferensen (Δt_{vatten}) över kylbatteriet samt vattenflödet (\dot{V}_{vatten}).

Injusteringsventilerna och pumpen hade inställningsvärden angivna i siffror, där siffran på ventilerna motsvarade hur öppna de var. För ventilerna innebar en lägre siffra en mer stängd ventil, medan för pumpen motsvarade en lägre siffra ett lägre varvtal. Dessa siffror noterades i tabellerna främst för att kunna återskapa ett test ifall mätresultat behövde valideras.

Något som uppmärksammades tidigt och som var gemensamt för alla mätningar var att det vid shuntreglering tog betydligt längre tid att uppnå önskad tilluftstemperatur. Shuntgruppens uppbyggnad introducerar en dötid eftersom vattnet behöver transporteras flera varv i rörkretsen innan vattentemperaturen stabiliserar sig. Detta skapade betydligt längre väntetider för att få fram resultat från testerna vid shuntreglering, jämfört med flödesreglering.

Inför laborationstesterna fanns även en hypotes om att flödesreglering skulle resultera i en mindre stabil tilluftstemperatur. Detta visade sig inte stämma, tilluftstemperaturen var helt stabil förutsatt att inget ändrades i det ingående lufttillståndet.

På labbruggen genomfördes 12 tester för flödesreglering respektive shuntreglering, alltså totalt 24 tester. Flera av testerna har strukits då felkällorna bedömdes vara för stora och resultaten osäkra. En bidragande orsak till detta var att den ingående luftens tillstånd hann variera i för hög grad mellan testerna.

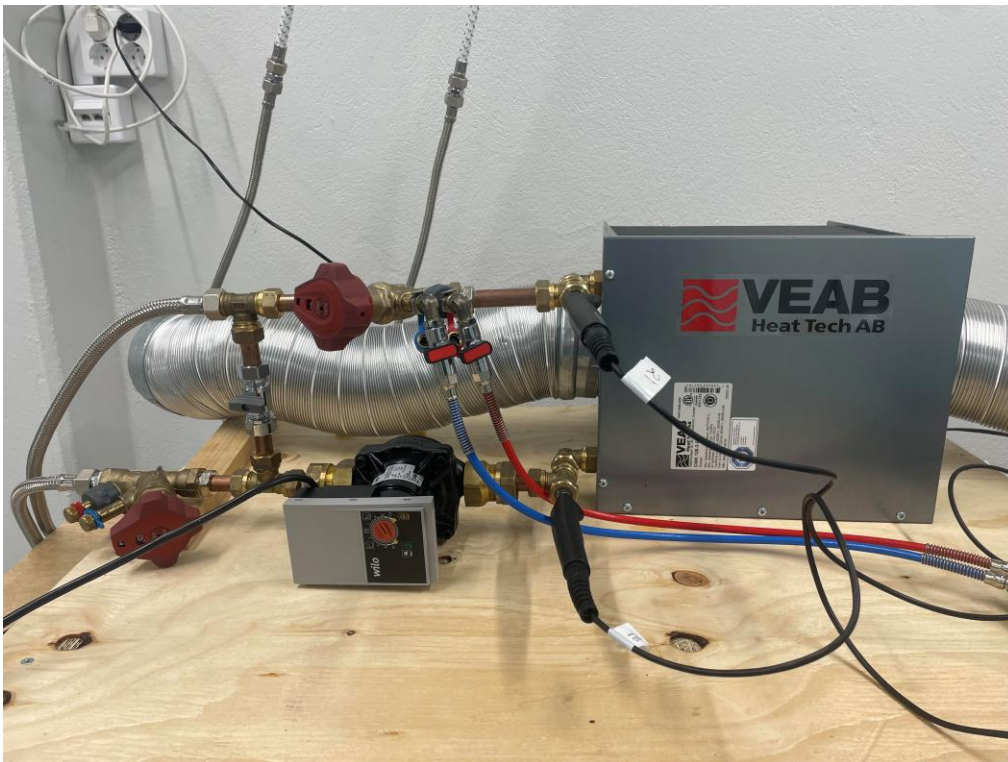


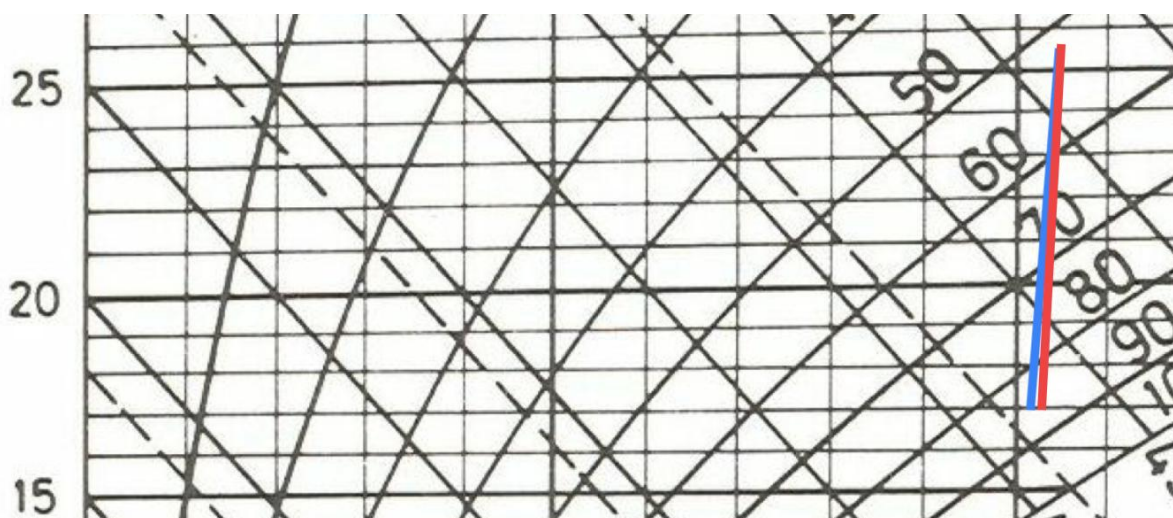
Bild 4.8: Labbruggens utformning

4.5 Resultat

I följande tabeller redovisas de viktigaste parametrarna som berör avfuktningen. För fullständiga tabeller från labbtesterna, se Appendix B.

Test 1

Vid Test 1 enligt Tabell 4.1 och Figur 4.4 var målet att uppnå en tilluftstemperatur på 17°C. Testerna utfördes vid ett luftflöde på 42,0 l/s och vid detta luftflöde kunde önskat målvärde uppnås.



Figur 4.4: Resultat från labbtest 1. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

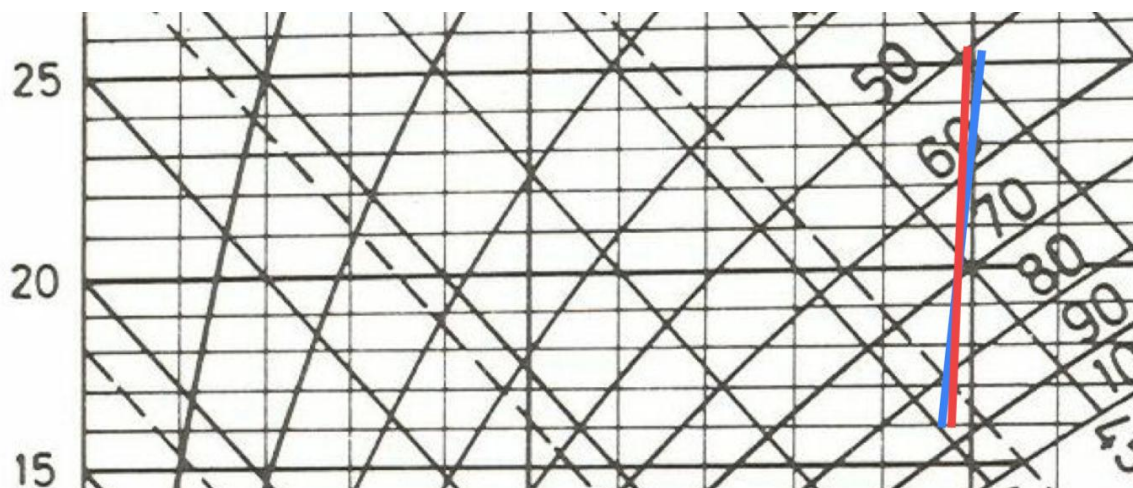
Test 1			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
t _{1,luf}	25.5	25.6	[°C]
t _{2,luf}	17	17	[°C]
RF _{innan}	51.5	51.3	[%]
RF _{eff}	84.2	85.2	[%]
t _{1,vatten}	11	13.6	[°C]
t _{2,vatten}	15.3	14.6	[°C]
t _{medel}	13.15	14.1	[°C]
t _{eff}	14.4	14.7	[°C]
x ₁	0.0105	0.0105	[kg/kg]
x ₂	0.0102	0.0103	[kg/kg]
Δx	0.0003	0.0002	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.0561	0.0378	[l/h]

Tabell 4.1: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid en tilluftstemperatur 17°C och ett luftflöde 42,0 l/s

Resultatet enligt Tabell 4.1 visar att mängd kondensation varierar mellan de två regleralternativen och att flödesreglering leder till en högre grad av avfuktning. Resultatet visar även att det för flödesreglering krävdes ett lägre vattenflöde än för shuntreglering för att uppnå önskad tilluftstemperatur.

Test 2

Vid Test 2 enligt Tabell 4.2 och Figur 4.5 var målet att uppnå en tilluftstemperatur på 16°C. Testerna utfördes vid ett luftflöde på 42,0 l/s och vid detta luftflöde kunde önskat målvärde uppnås.



Figur 4.5: Resultat från labbtest 2. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

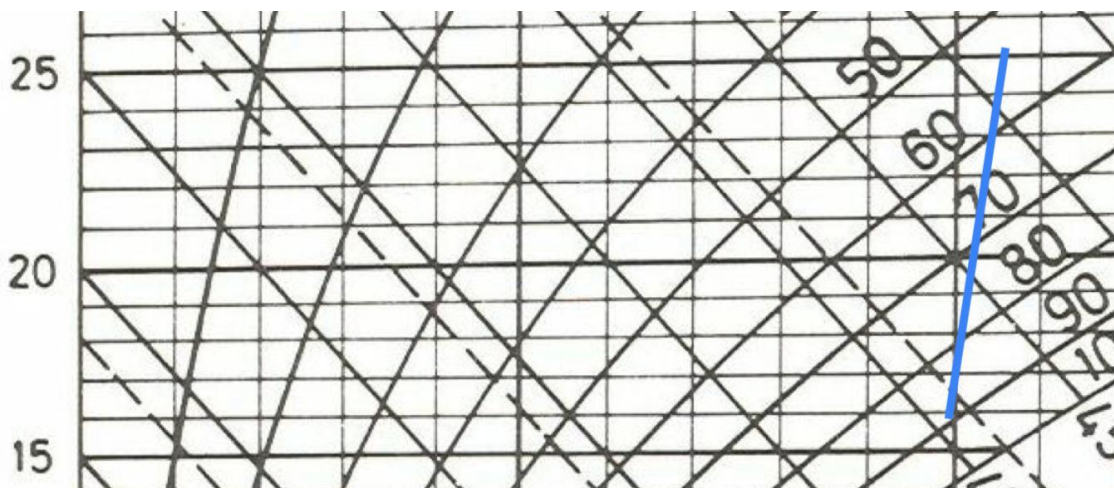
Test 2			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
t _{1,luf}	25.3	25.4	[°C]
t _{2,luf}	16	16	[°C]
RF _{innan}	50.4	49.3	[%]
RF _{efter}	85.4	86.3	[%]
t _{1,vatten}	10.6	12.6	[°C]
t _{2,vatten}	14.5	13.5	[°C]
t _{,medel}	12.55	13.05	[°C]
t _{eff}	13.6	13.9	[°C]
x ₁	0.0101	0.0100	[kg/kg]
x ₂	0.0097	0.0098	[kg/kg]
Δx	0.0005	0.0002	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.0828	0.0342	[l/h]

Tabell 4.2: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid en tilluftstemperatur 16°C och ett luftflöde 42,0 l/s

Resultatet enligt Tabell 4.2 visar även här att flödesreglering leder till en större mängd kondensation och alltså en högre grad av avfuktning. Här är differensen mellan de olika regleralternativen större. Detta Test upprepades även med ett luftflöde på 56,7 l/s vilket redovisas i Test 3.

Test 3

Vid Test 3 enligt Tabell 4.3 och Figur 4.6 var målet att uppnå en tilluftstemperatur på 16°C men vid ett högre luftflöde än tidigare. Vid detta luftflöde gick det inte att uppnå en tilluftstemperatur på 16°C med shuntreglering. Ett antagande kring varför detta inte gick att uppnå är att temperaturen på vattnet i shuntgruppen blev för hög och därmed räckte den tillgängliga kyleffekten inte till. Testets resultat inkluderas dock för jämförelse av resultat vid olika luftflöden vid flödesreglering.



Figur 4.6: Resultat från labbtest 3. Avfuktning vid flödesreglering i Mollierdiagram.

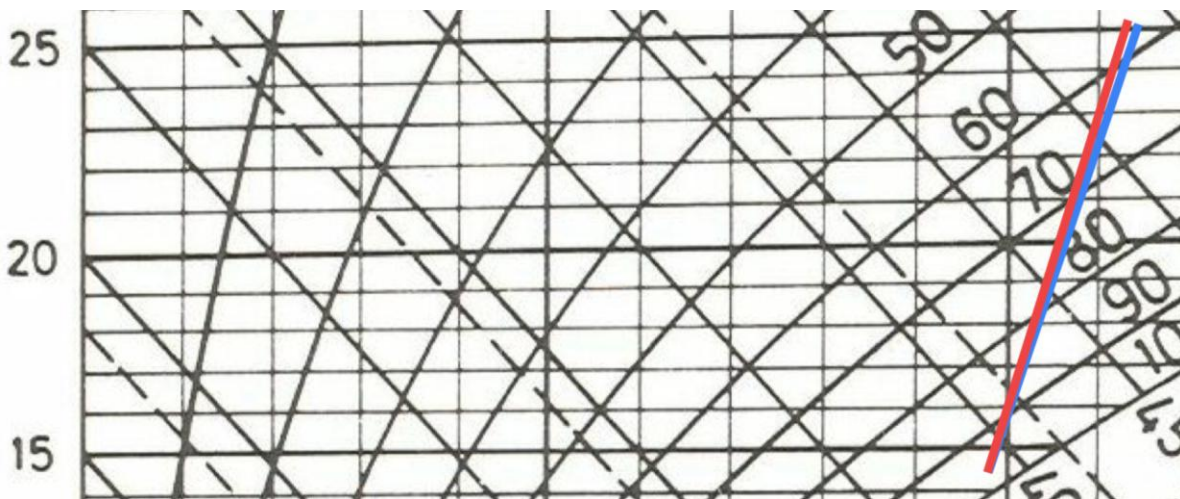
Test 3			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
t _{1,luf}	25.2	EJ MÖJLIGT	[°C]
t _{2,luf}	15.9		[°C]
RF _{innan}	53		[%]
RF _{efter}	88.3		[%]
t _{1,vatten}	10.2		[°C]
t _{2,vatten}	13.3		[°C]
t _{medel}	11.75		[°C]
t _{eff}	13.9		[°C]
x ₁	0.0106		[kg/kg]
x ₂	0.0099		[kg/kg]
Δx	0.0007		[kg/kg]
Mängd kondensation	0.1600		[l/h]

Tabell 4.3: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid en tilluftstemperatur 16°C och ett luftflöde 56,7 l/s

Resultatet enligt Tabell 4.3 visar ungefär dubbelt så stor avfuktning jämfört med Test 2.

Test 4

Vid Test 4 enligt Tabell 4.4 och Figur 4.7 var målet att uppnå en tilluftstemperatur på 14,5°C, men vid ett lägre luftflöde jämfört med tidigare tester. Denna låga tilluftstemperatur tillämpas sällan i normala driftfall. Syftet med testet var i stället att utvärdera regleralternativen vid en större temperaturdifferens på luftsidan ($\Delta t_{\text{luf}}t$).



Figur 4.7: Resultat från labbttest 4. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

Test 4			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$t_{1,\text{luf}}$	25.1	25.2	[°C]
$t_{2,\text{luf}}$	14.5	14.5	[°C]
RF_{innan}	57.5	56.6	[%]
RF_{efter}	95.3	95.2	[%]
$t_{1,\text{vatten}}$	10.6	12.4	[°C]
$t_{2,\text{vatten}}$	14.6	13.3	[°C]
t_{medel}	12.6	12.85	[°C]
t_{eff}	13.8	13.95	[°C]
x_1	0.0114	0.0113	[kg/kg]
x_2	0.0098	0.0098	[kg/kg]
Δx	0.0016	0.0015	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.1753	0.1642	[l/h]

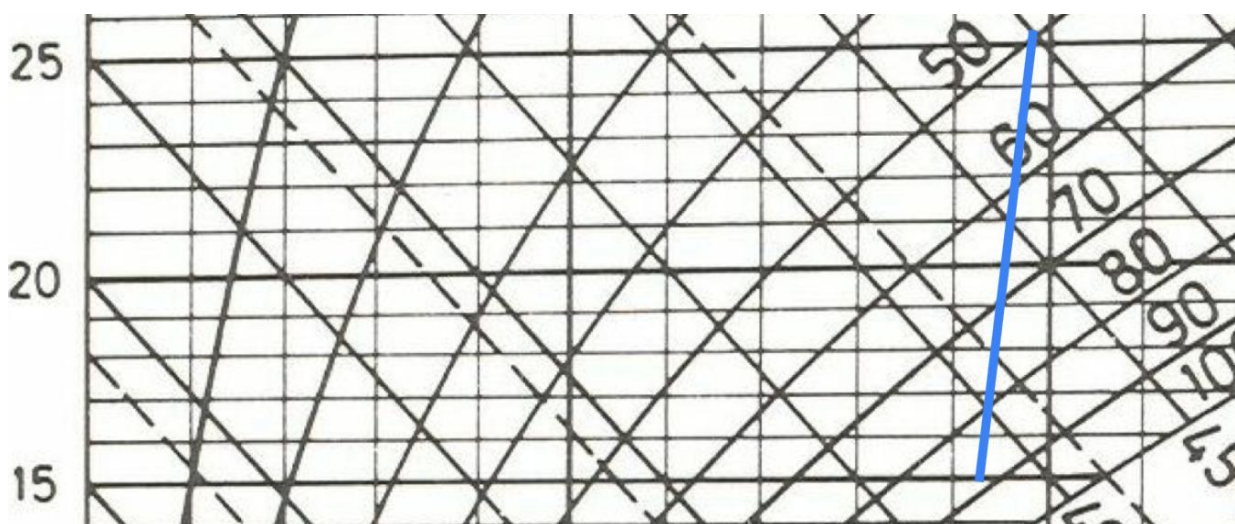
Tabell 4.4: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid en tilluftstemperatur 14,5°C och ett luftflöde 24,8 l/s

Resultatet enligt Tabell 4.4 visar att avfuktningen blev något större vid flödesreglering. Den relativa luftfuktigheten var dock något högre i detta test. En granskning av det absoluta fukttinnehållet före kylbatteriet (x_1) visar en skillnad på 0,00011 kg/kg mellan fallen med öppen respektive stängd shunt.

Även differensen i absolut fukttinnehåll över kylbatteriet (Δx) uppvisar en motsvarande skillnad på 0,00011 kg/kg. Detta tyder på att skillnaden i avfuktning i detta test framför allt beror på en variation i det ingående lufttillståndet.

Test 5

Vid Test 5 enligt Tabell 4.5 och Figur 4.8 var målet att uppnå en tilluftstemperatur på 15°C. Testet utfördes vid ett luftflöde på 42,0 l/s och vid detta luftflöde kunde önskat målvärde inte uppnås med shuntreglering. Testets resultat redovisas i stället med syfte att jämföra avfuktningen vid kylning till en lägre temperatur.



Figur 4.8: Resultat från labbtest 5. Avfuktning med flödesreglering i Mollierdiagram.

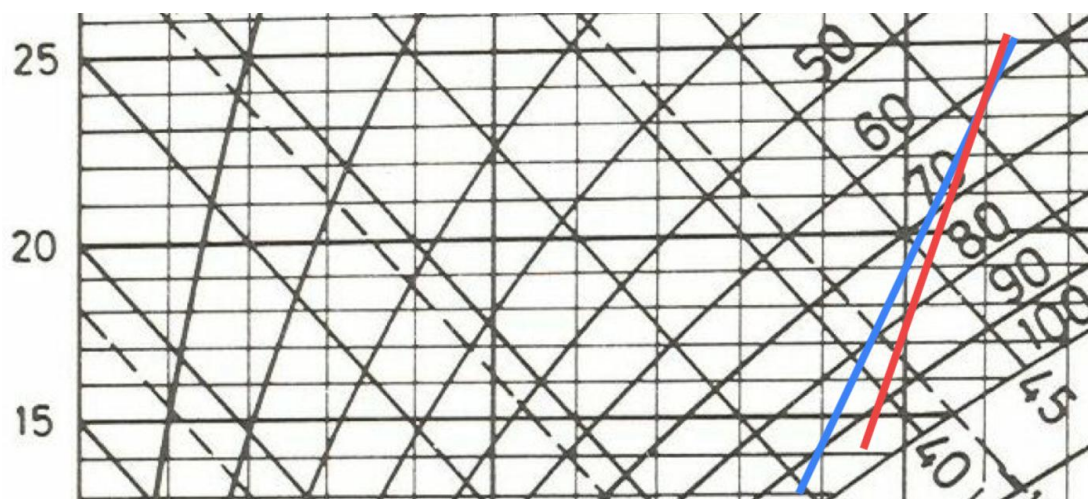
Test 5			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
t _{1,luf}	25.3	EJ MÖJLIGT	[°C]
t _{2,luf}	15		[°C]
RF _{innan}	49		[%]
RF _{eff}	87.4		[%]
t _{1,vatten}	10.5		[°C]
t _{2,vatten}	12.6		[°C]
t _{medel}	11.55		[°C]
t _{eff}	12.9		[°C]
x ₁	0.0098		[kg/kg]
x ₂	0.0093		[kg/kg]
Δx	0.0006		[kg/kg]
Mängd kondensation	0.1023		[l/h]

Tabell 4.5: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid en tilluftstemperatur 15°C och ett luftflöde 42,0 l/s

Resultatet enligt Tabell 4.5 visar att avfuktningen blev större vid kylning till 15°C jämfört med 16°C i Test 2.

Test 6

Vid Test 6 enligt Tabell 4.6 och Figur 4.9 var målet att hålla samma vattenflöde för de två regleralternativen. Detta var inte för att återskapa något verkligt driftfall. Syftet var i stället att studera kylbatteriets egenskaper och bekräfta slutsatser från litteraturstudien.



Figur 4.9: Resultat från labbtest 6. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

Test 6			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$t_{1,luf}$	25.1	25.2	[°C]
$t_{2,luf}$	13	14.2	[°C]
RF_{innan}	57.1	56.3	[%]
RF_{efter}	93.6	94.3	[%]
$t_{1,vatten}$	10.1	11.8	[°C]
$t_{2,vatten}$	11.7	13	[°C]
t_{medel}	10.9	12.4	[°C]
t_{eff}	11.9	13.5	[°C]
x_1	0.0114	0.0113	[kg/kg]
x_2	0.0087	0.0095	[kg/kg]
Δx	0.0026	0.0018	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.2826	0.1880	[l/h]

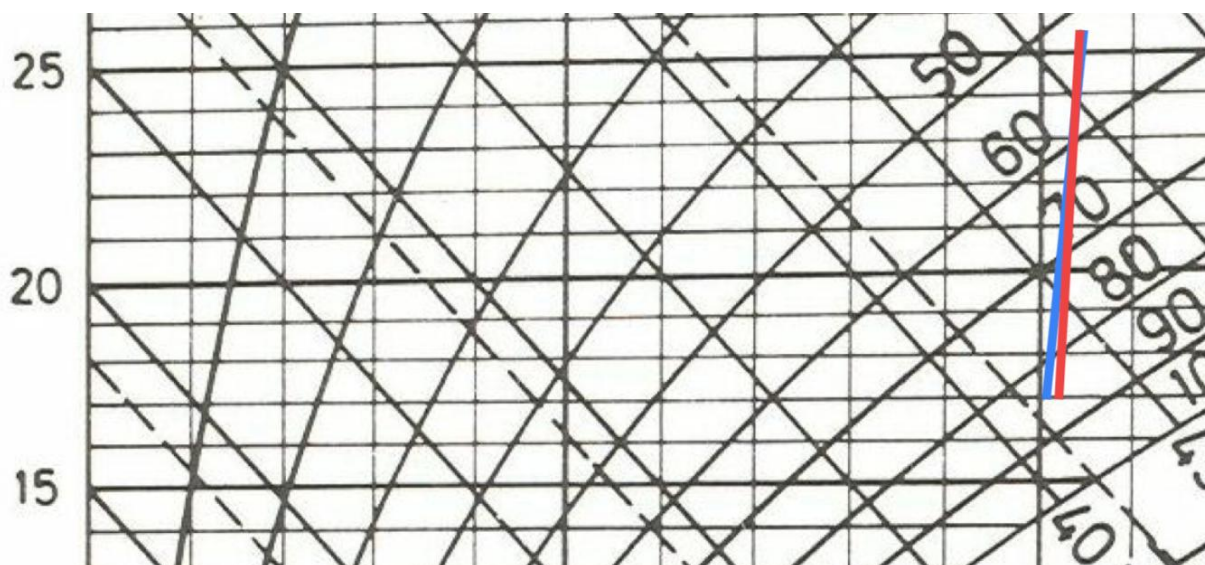
Tabell 4.6: Indata och resultat för jämförelse av shuntreglering och flödesreglering vid lika vattenflöde och ett luftflöde 42,0 l/s

Resultatet i Tabell 4.6 visar en större avfuktning vid flödesreglering.

Jämförelse av simulering och labb

För att undersöka om simuleringarna som genomfördes innan laborationen stämde överens med de fysiska labbtesterna gällande avfuktning, gjordes försök att återskapa labbtesternas resultat i Acon. Syftet var att undersöka ifall metodernas resultat överensstämmer med varandra, för att bedöma programmets tillförlitlighet och därefter utföra simuleringar med lägre tilloppstemperaturer. Då testriggen var väldigt liten jämfört med simuleringsprogrammets tillgängliga storlekar, skalades parametrar som luftflöde och dimensioner på kylbatteriet upp med en faktor 10 för att kunna återskapa riggen, fast i större skala. Fullständiga tabeller från simuleringstesterna hänvisas till Appendix C.

4.6 Återskapandet av labbttest 1 i Acon



Figur 5.1: Resultat vid återskapandet av labbttest 1. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

Air cooler for chilled water		
Output	4.84	kW
Air temperature	25.5 / 17	°C
Relative humidity	51.5 / 83.5	%
Water temperature	11 / 15.3	°C
Effective surface temperature	14.2	°C
x1	0.0105	kg/kg
x2	0.0101	kg/kg
Δx	0.0004	kg/kg
Amount of condensation	0.72	l/h
Recalculated condensation*	0.0717	l/h

Tabell 5.1: Återskapandet av labbttest flödesreglering i Acon. Beräknad kondens enligt Magnus formel. *dividerad med faktor 10 för att jämföras med laborationsresultat. (FläktGroup, u.å)

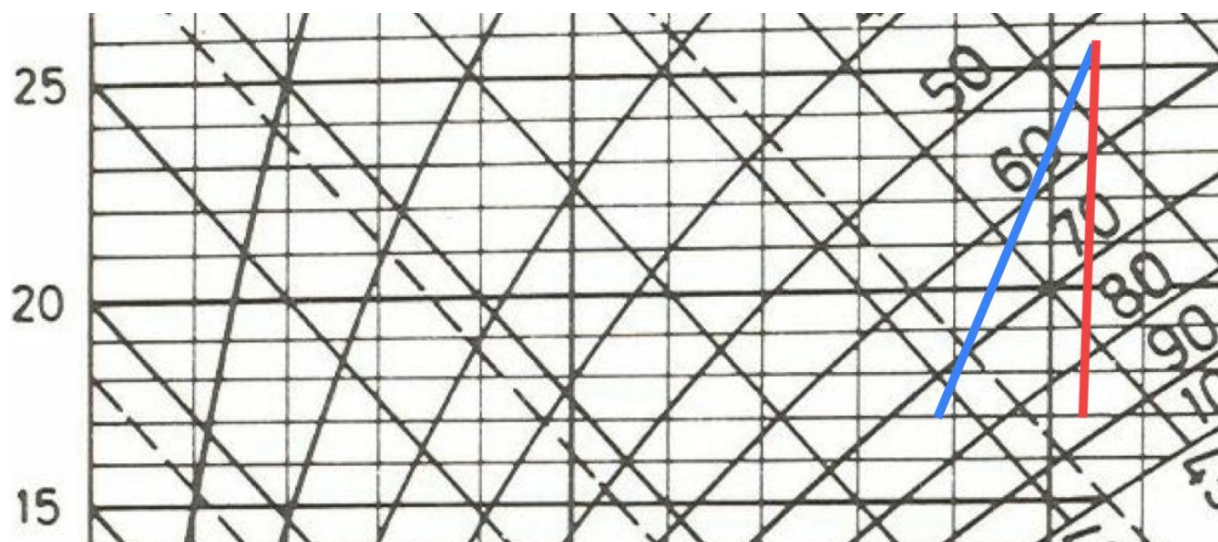
Air cooler for chilled water		
Output	4.75	kW
Air temperature	25,5 / 17	°C
Relative humidity	51,3 / 84,6	%
Water temperature	13,6 / 14,6	°C
Effective surface temperature	14.5	°C
x1	0.0104	kg/kg
x2	0.0102	kg/kg
Δx	0.0002	kg/kg
Amount of condensation	0.40	l/h
Recalculated condensation*	0.0397	l/h

Tabell 5.2: Återskapandet av labbttest shuntreglering i Acon. Beräknad kondens enligt Magnus formel. *dividerad med faktor 10 för att jämföras med laborationsresultat. (FläktGroup, u.å)

Simuleringens resultat stämmer relativt väl överens med laborationstesterna enligt Tabell 4.1, och resultaten bedöms därmed vara rimliga. Vidare tester utfördes i Acon, vilka genomfördes med lägre tilloppstemperaturer.

Följande test använde en mer lämplig tilloppstemperatur för flödesreglering, samt rimligare tillopps- och returtemperatur för shuntreglering, för att ge ett representativt resultat utifrån mer realistiska parametrar.

4.7 Simulering med nya tilloppstemperaturer



Figur 5.2: Resultat vid simulering med lägre tilloppstemperaturer. Jämförelse av avfuktning vid flödesreglering och shuntreglering i Mollierdiagram.

Air cooler for chilled water		
Output	6,40	kW
Air temperature	25,5 / 17	°C
Relative humidity	51,5 / 73,2	%
Water temperature	7 / 10	°C
Effective surface temperature	10	°C
x1	0,0105	kg/kg
x2	0,0088	kg/kg
Δx	0,0017	kg/kg
Amount of condensation	3,00	l/h
Recalculated condensation*	0,3003	l/h

Tabell 5.3: Simulering av flödesreglering i Acon med lägre tilloppstemperaturer. Beräknad kondens enligt Magnus formel. *dividerad med faktor 10 för att jämföras med laborationsresultat. (FläktGroup, u.å)

Air cooler for chilled water		
Output	4,57	kW
Air temperature	25,6 / 17	°C
Relative humidity	51,3 / 85,8	%
Water temperature	13 / 16	°C
Effective surface temperature	14,9	°C
x1	0,0105	kg/kg
x2	0,0104	kg/kg
Δx	0,0001	kg/kg
Amount of condensation	0,24	l/h
Recalculated condensation*	0,0245	l/h

Tabell 5.4: Simulering av shuntreglering i Acon med lägre tilloppstemperaturer. Beräknad kondens enligt Magnus formel. *dividerad med faktor 10 för att jämföras med laborationsresultat. (FläktGroup, u.å)

Resultaten visar att vid dessa tillopp- och returtemperaturer blev skillnaden i avfuktning ännu större än under den fysiska laborationen. Detta påvisar även en större skillnad i använd kyleffekt enligt Tabell 5.3 och 5.4.

5 Diskussion

5.1 Avfuktning via flödesreglering och shuntning

Under litteraturstudien konstaterades att inga vetenskapliga artiklar inom ämnet gick att hitta. En anledning tros vara att shuntgrupper inte används i samma utsträckning utanför Sverige. Av denna anledning kunde ingen publicerad information kring en jämförelse mellan flödesreglering och shuntreglering hittas. Jämförelsen gjordes därför endast med hjälp av labbtester och simuleringar.

Resultaten från både de fysiska labbtesterna och simuleringarna i Acon indikerar tydligt att avfuktningen vid flödesreglering är högre jämfört med shuntreglering. Den ursprungliga hypotesen kan därmed bekräftas.

Den effektiva yttemperaturen (t_{eff}) är genomgående lägre med flödesreglering jämfört med shuntreglering. Detta beror på att vattnets medeltemperatur (t_{medel}) blir lägre, vilket också är det primära målet med flödesreglering i denna studie. Den effektiva yttemperaturen hamnar dock någon grad högre än vattnets medeltemperatur. Orsaken till detta är att luften som passerar kylbatteriet samtidigt värmer upp flänsarna, vilket gör att yttemperaturen inte sjunker hela vägen ner till vattentemperaturen.

Shuntreglering uppvisar i testerna en mycket låg temperaturdifferens (Δt_{vatten}). Detta beror på att riggens inloppstemperatur redan från början är relativt hög. När vattnet sedan blandas i shuntgruppen med returvattnet erhålls en ännu högre temperatur. varpå systemet måste kompensera för den minskade kyleffekten genom ett högre vattenflöde.

Den mätdata som samlades in under de fysiska mätningarna låg till grund för de efterföljande simuleringarna. En jämförelse visar att de fysiska testerna och resultaten från simuleringarna överensstämmer, och resultaten bedöms därför vara tillförlitliga och rimliga, trots diskuterade mätosäkerheter under labbtesterna.

Det bör däremot noteras att de fysiska mätningarna inte uppvisade en så stor skillnad i avfuktning mellan regleralternativen som förväntades. Avvikelsen bedöms främst bero på den relativt höga tillloppstemperaturen på kylvattnet under testförsöken. För att verifiera teorin genomfördes ytterligare analyser i simuleringsprogrammet. Genom att utföra nya körningar med en lägre tillloppstemperatur kunde dess inverkan undersökas, för att påvisa hur denna parameter begränsade avfuktningen.

Resultaten från dessa kompletterande simuleringar med en lägre tilloppstemperatur bekräftade antagandet. Simuleringsresultaten påvisade en markant skillnad i avfuktning mellan de två regleralternativen jämfört med den högre tilloppstemperaturen. När kylvattnets framledningstemperatur sänktes, skapades en större temperaturdifferens mellan den effektiva yttemperaturen på kylbatteriet och den ingående luften, vilket ökade mängden kondens, främst vid flödesreglering.

Detta utfall bekräftar den teori som låg till grund för denna studie, samt fastställer att laborationsriggens tilloppstemperatur var en begränsande faktor vid de fysiska testerna. Studien visar därmed den tekniska fördelen med flödesreglering framför shuntreglering, utifrån syftet att sänka tilluftens dagpunkt och öka mängden kondens vid kylbatteriet.

5.2 Osäkerheter av resultat

När mätdata från de fysiska testerna utvärderas bör hänsyn tas till de felkällor och mätosäkerheter som dokumenterats under laborationsutförandet, se Avsnitt 5.4. Otätheter i testrummet, värmeförluster från oisolerade tilluftskanaler samt en hög tilloppstemperatur kan innebära att uppmätta resultat och beräknad avfuktning kan avvika från mer optimala förhållanden.

5.3 Energi- och materialbesparing

Resultaten från denna studie visar att en förbättrad avfuktning av tilluften uppnås vid flödesreglering. Om detta skulle tillämpas i verkliga projekt, skulle det teoretiskt sett kunna möjliggöra materialbesparingar. Detta eftersom en lägre tilloppstemperatur till vattenburna kylsystem skulle kunna användas. På så sätt kan dimensionerna på både kylbafflar och rörledningar minskas, samtidigt som det behövs färre komponenter i reglerkretsen.

Något annat som påvisas är att flödesreglering använder mer kyleffekt än shuntreglering av kylbatteri. Detta förklaras av att den latent kylningen som sker vid avfuktning är en process som kräver extra energi. Därför kan shuntgruppen ses som ett mer energieffektivt alternativ i de fall då avfuktning av luften inte är fördelaktigt.

Det är således viktigt att beakta energi- och materialbesparing ur ett långsiktigt perspektiv. En kortsiktig materialbesparing kan leda till en högre energiförbrukning. Dessa konsekvenser skulle då gå emot EU:s och Sveriges energieffektiviseringsdirektiv som pekar på att byggnaders

energianvändning måste minska. Därav skulle livscykelanalyser och livscykelkostnader vara av intresse för att fastställa det optimala valet där minskad resursanvändning och energianvändning beaktas tillsammans.

5.4 Vidare studier

Som tidigare nämnts i Kapitel 2.4 ställs det alltmer hårdare krav på byggnaders totala energibehov, samtidigt som behovet av kylning ökar på grund av pågående klimatförändringar. Ett relevant spår för vidare studier vore därför att utföra en djupare undersökning kring vilket av de två regleralternativen som är mest fördelaktigt utifrån ett energiperspektiv, där både avfuktningsskapaciteten och energioptimering vägs in tillsammans. Denna fortsatta studie skulle utgöra ett värdefullt underlag för framtida projekteringar inom VVS-branschen, för att främja lösningar som kombinerar ett system med hög avfuktning förmåga och en minimerad energianvändning.

Det skulle även vara intressant och av stort värde för VVS-branschen att genomföra en kvalitativ och mer djupgående studie med ett fokus på materialåtgång och livscykelkostnader. Genom att eventuellt kunna utesluta vissa komponenter finns potentiella materialbesparingar. Framtida studier skulle därmed vara att analysera driftskostnader, materialkostnader och totalkostnader över systemets livslängd.

6 Slutsats

Resultaten från simuleringarna samt de fysiska testerna påvisar att flödesreglering leder till en större avfuktning i kylbatteriet. Hur omfattande skillnaden i avfuktning är beror på hur stor temperaturdifferensen mellan de två alternativen är.

Utöver avfuktningen är de två alternativen relativt likvärdiga funktionsmässigt. Båda kan leverera en stabil reglering av tilluftens temperatur. Det som skiljer dem åt är att shuntreglering introducerar en dötid i systemet, vilket medför att det tar längre tid att reglera tilluftstemperaturen än vid flödesreglering.

7 Referenser

Boverket. (2025a, 29 januari).

Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/>

Boverket. (2025b, 11 mars). *Energipolitiska mål påverkar byggnader.*

<https://www.boverket.se/sv/energiguiden/varfor-energirenovera/energipolitiska-mal/>

Boverket. (2025c, 1 juli). *Termisk komfort.*

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/hygien-halsa-och-miljo/termisk-komfort/>

Energimyndigheten. (2024, 11 oktober). *Värme och kyla.*

<https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/varme-och-kyla-termoprogrammet/>

Europaparlamentet och Europeiska unionens råd. (2023).

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/1791 av den 13 september 2023 om energieffektivitet och om ändring av förordning (EU) 2023/955 (omarbetning). (Direktiv (EU) 2023/1791)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023L1791>

FläktGroup. (u.å.). *Acon* (Version 3.47.190612) [Webbaserat simuleringsverktyg].

<https://acon.flaktgroup.com>

IV Produkt (u.å.) *Designer* (Version 305.28.0.0) [Webbaserat simuleringsverktyg]

<https://www.ivprodukt.se/programvaror/iv-produkt-designer>

Labriet, M., Joshi, S. R., Babonneu, F., Edwards, N. R., Holden, P. B., Kanudia, A., Loulou, R., Vielle, M. (2015).

Worldwide impacts of climate change on energy for heating and cooling. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 20, 1111–1136
<https://doi.org/10.1007/s11027-013-9522-7>

Swegon (2025). *AHU Design* (v. 4.7.0) [Webbaserat simuleringsverktyg].
<https://www.swegon.com/sv/support/software/ahud/>

Swegon (u.å.a) *Luft- och vattenburna system.*
<https://www.swegon.com/sv/referenser-och-kunskap/tekniska-guider/luft-eller-vatten/>

Swegon (u.å.b). *Kyla ett rum.*
<https://www.swegon.com/sv/referenser-och-kunskap/manniskan-och-rummet/inomhusklimat/viktiga-principer-for-inomhusklimat/hur-regleras-temperaturen-i-byggnaden/att-kyla-ett-rum/>

Van den Brink, A., Kramer, R. (2025)
The fault-free case of low delta-T syndrome under part-load behaviour of three cooling coil designs. Applied Thermal Engineering, 275, 1–4.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.127555>

Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer* (upplaga 1:19). Studentlitteratur AB, Lund.

Wern, L. (2013). *Luftfuktighet: Variationer i Sverige* (Meteorologi nr 154). SMHI.
https://www.smhi.se/download/18.18f5a56618fc9f08e832d254/1717805317430/Meteorologi_154%20Luftfuktighet%20Variationer%20i%20Sverige.pdf

APPENDIX A – Simuleringsresultat i Acon före labbtester

I följande redovisas simuleringsresultaten från tester i Acon som utfördes innan labbtester.

Tabell A.1) Första körning med flödesreglering.

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	78	Pa
Oversizing	9.5	%
Pressure drop, wet coil	78	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	14.1	kW
Air temperature	27 / 17	°C
Relative humidity	50 / 87	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	10 / 15	°C
Water flow	0.67	l/s
Water velocity	0.6	m/s
Pressure drop water	4.2	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell A.2) Första körning med shuntreglering.

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	87	Pa
Oversizing	44.0	%
Pressure drop, wet coil	87	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	17.9	kW
Air temperature	27 / 17	°C
Relative humidity	50 / 76.3	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	7 / 9	°C
Water flow	2.13	l/s
Water velocity	2.0	m/s
Pressure drop water	35.6	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell A.3) *Andra körning med flödesreglering.*

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	83	Pa
Oversizing	64.9	%
Pressure drop, wet coil	83	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	13.2	kW
Air temperature	25 / 17	°C
Relative humidity	50 / 72.1	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	7 / 9	°C
Water flow	1.58	l/s
Water velocity	1.4	m/s
Pressure drop water	19.4	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell A.4) *Andra körning med shuntreglering.*

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	71	Pa
Oversizing	20.5	%
Pressure drop, wet coil	71	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	10	kW
Air temperature	25 / 17	°C
Relative humidity	50 / 81	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	10 / 15	°C
Water flow	0.48	l/s
Water velocity	0.4	m/s
Pressure drop water	2.2	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell A.5) Tredje körning med flödesreglering.

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	96	Pa
Oversizing	80.6	%
Pressure drop, wet coil	96	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	13.7	kW
Air temperature	23 / 17	°C
Relative humidity	70 / 84.1	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	7 / 9	°C
Water flow	1.63	l/s
Water velocity	1.5	m/s
Pressure drop water	20.6	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell A.6) Tredje körning med shuntreglering.

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	88	Pa
Oversizing	15.5	%
Pressure drop, wet coil	88	Pa
Pressure drop, dry coil	60	Pa
Output	10.8	kW
Air temperature	23 / 17	°C
Relative humidity	70 / 92	%
Face velocity	2.1	m/s
Water temperature	10 / 15	°C
Water flow	0.52	l/s
Water velocity	0.5	m/s
Pressure drop water	2.6	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

APPENDIX B – Resultat från labbtester

Tabell B.1) Labbtest 1 – Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid tilluftstemperatur 17°C och luftflöde 42l/s.

Test 1			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$T_{1,luft}$	25.5	25.6	[°C]
$T_{2,luft}$	17	17	[°C]
ΔT_{luft}	8.5	8.6	[°C]
RF_{innan}	51.5%	51.3%	[%]
RF_{efter}	84.2%	85.2%	[%]
$T_{1,vatten}$	11	13.6	[°C]
$T_{2,vatten}$	15.3	14.6	[°C]
ΔT_{vatten}	4.3	1	[°C]
\dot{V}_{vatten}	0.026	0.13	[l/s]
Reglerventil läge	1.4	2	[-]
Injusteringsventil läge	1.5	3	[-]
Pump läge	2	7.5	[-]
Jämförelse	Temperatur 17°C	Temperatur 17°C	[-]
x_1	0.01047	0.01049	[kg/kg]
x_2	0.01016	0.01028	[kg/kg]
Δx	0.00031	0.00021	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.05612	0.03782	[l/h]

Tabell B.2) Labbtest 2 - Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid tilluftstemperatur 16°C och luftflöde 42l/s

Test 2			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$T_{1,luft}$	25.3	25.4	[°C]
$T_{2,luft}$	16	16	[°C]
ΔT_{luft}	9.3	9.4	[°C]
RF_{innan}	50.4%	49.3%	[%]
RF_{efter}	85.4%	86.3%	[%]
$T_{1,vatten}$	10.6	12.6	[°C]
$T_{2,vatten}$	14.5	13.5	[°C]
ΔT_{vatten}	3.9	0.9	[°C]
\dot{V}_{vatten}	0.033	0.131	[l/s]
Reglerventil läge	1.6	3.4	[-]
Injusteringsventil läge	2	4	[-]
Pump läge	3	7	[-]
Jämförelse	Temperatur 16°C	Temperatur 16°C	[-]
x_1	0.01012	0.00995	[kg/kg]
x_2	0.00966	0.00977	[kg/kg]
Δx	0.00046	0.00019	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.08281	0.03421	[l/h]

Tabell B.3) Labbtest 3 - Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid tilluftstemperatur 16°C och luftflöde 57.6l/s.

Test 3			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$T_{1,luft}$	25.2	EJ MÖJLIGT	[°C]
$T_{2,luft}$	15.9		[°C]
ΔT_{luft}	9.3		[°C]
RF_{innan}	53.0%		[%]
RF_{efter}	88.3%		[%]
$T_{1,vatten}$	10.2		[°C]
$T_{2,vatten}$	13.3		[°C]
ΔT_{vatten}	3.1		[°C]
\dot{V}_{vatten}	0.048		[l/s]
Reglerventil läge	2		[-]
Injusteringsventil läge	4		[-]
Pump läge	4		[-]
Jämförelse	Temperatur 16°C		[-]
x_1	0.01058		[kg/kg]
x_2	0.00993		[kg/kg]
Δx	0.00065		[kg/kg]
Mängd kondensation	0.15999		[l/h]

Tabell B.4) Labbtest 4 - Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid tilluftstemperatur 14.5°C och luftflöde 24.8l/s

Test 4			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$T_{1,luft}$	25.1	25.2	[°C]
$T_{2,luft}$	14.5	14.5	[°C]
ΔT_{luft}	10.6	10.7	[°C]
RF_{innan}	57.5%	56.6%	[%]
RF_{efter}	95.3%	95.2%	[%]
$T_{1,vatten}$	10.6	12.4	[°C]
$T_{2,vatten}$	14.6	13.3	[°C]
ΔT_{vatten}	4	0.9	[°C]
\dot{V}_{vatten}	0.0085	0.113	[l/s]
Reglerventil läge	1.35	2.3	[-]
Injusteringsventil läge	4	4	[-]
Pump läge	1	6	[-]
Jämförelse	Temperatur 14.5°C	Temperatur 14.5°C	[-]
x_1	0.01143	0.01132	[kg/kg]
x_2	0.00979	0.00978	[kg/kg]
Δx	0.00164	0.00153	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.17530	0.16423	[l/h]

Tabell B.5) Labbtest 5 - Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid tilluftstemperatur 15°C och luftflöde 42l/s.

Test 5			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
$T_{1,luft}$	25.3	EJ MÖJLIGT	[°C]
$T_{2,luft}$	15		[°C]
ΔT_{luft}	10.3		[°C]
RF_{innan}	49.0%		[%]
RF_{efter}	87.4%		[%]
$T_{1,vatten}$	10.5		[°C]
$T_{2,vatten}$	12.6		[°C]
ΔT_{vatten}	2.1		[°C]
\dot{V}_{vatten}	0.06		[l/s]
Reglerventil läge	1.6		[-]
Injusteringsventil läge	3		[-]
Pump läge	6		[-]
Jämförelse	Temperatur 15°C		[-]
x_1	0.00983		[kg/kg]
x_2	0.00927		[kg/kg]
Δx	0.00056		[kg/kg]
Mängd kondensation	0.10230		[l/h]

Tabell B.6) Labbtest 6 - Jämförelse av avfuktning för flödesreglering och shuntreglering vid samma vattenflöde och ett luftflöde på 42l/s.

Test 6			
Parameter	Flödesreglering	Shuntreglering	Enhet
T _{1,luft}	25.1	25.2	[°C]
T _{2,luft}	13	14.2	[°C]
ΔT _{luft}	12.1	11	[°C]
RF _{innan}	57.1%	56.3%	[%]
RF _{efter}	93.6%	94.3%	[%]
T _{1,vatten}	10.1	11.8	[°C]
T _{2,vatten}	11.7	13	[°C]
ΔT _{vatten}	1.6	1.2	[°C]
Ḃ _{vatten}	0.079	0.078	[l/s]
Reglerventil läge	2.5	4.9	[-]
Injusteringsventil läge	3	4	[-]
Pump läge	6	4	[-]
Jämförelse	Lika flöde	Lika flöde	[-]
x ₁	0.01135	0.01126	[kg/kg]
x ₂	0.00871	0.00950	[kg/kg]
Δx	0.00264	0.00175	[kg/kg]
Mängd kondensation	0.28258	0.18799	[l/h]

APPENDIX C– simuleringar i Acon efter labbtester

Tabell C.1) Återskapandet av labbtest 1 i Acon med shuntreglering

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	22	Pa
Oversizing	29.9	%
Pressure drop, wet coil	22	Pa
Pressure drop, dry coil	18	Pa
Output	4.84	kW
Air temperature	25.5 / 17	°C
Relative humidity	51.5 / 83.5	%
Face velocity	0.9	m/s
Water temperature	11 / 15.3	°C
Water flow	0.27	l/s
Water velocity	0.2	m/s
Pressure drop water	0.8	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell C.2) Återskapandet av labbtest 1 i Acon med flödesreglering

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	22	Pa
Oversizing	27.1	%
Pressure drop, wet coil	22	Pa
Pressure drop, dry coil	18	Pa
Output	4.75	kW
Air temperature	25.6 / 17	°C
Relative humidity	51.3 / 84.6	%
Face velocity	0.9	m/s
Water temperature	13.6 / 14.6	°C
Water flow	1.13	l/s
Water velocity	1.0	m/s
Pressure drop water	10.5	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabeller nedan redovisar simuleringsresultat från Acon med en lägre tilloppstemperatur.

Tabell C.3) *Simulering med lägre tilloppstemperatur vid flödesreglering*

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	25	Pa
Oversizing	81.7	%
Pressure drop, wet coil	25	Pa
Pressure drop, dry coil	18	Pa
Output	6.4	kW
Air temperature	25.5 / 17	°C
Relative humidity	51.5 / 73.2	%
Face velocity	0.9	m/s
Water temperature	7 / 10	°C
Water flow	0.51	l/s
Water velocity	0.5	m/s
Pressure drop water	2.4	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s

Tabell C.4) *Simulering med lägre tilloppstemperatur vid shuntreglering*

Air cooler for chilled water		
Nom. pipe size	32	
Liquid volume	8.3	l
Pressure drop, dimensioning	21	Pa
Oversizing	22.0	%
Pressure drop, wet coil	21	Pa
Pressure drop, dry coil	18	Pa
Output	4.57	kW
Air temperature	25.6 / 17	°C
Relative humidity	51.3 / 85.8	%
Face velocity	0.9	m/s
Water temperature	13 / 16	°C
Water flow	0.36	l/s
Water velocity	0.3	m/s
Pressure drop water	1.4	kPa
Amount of condensation	0.0	l/s



CHALMERS