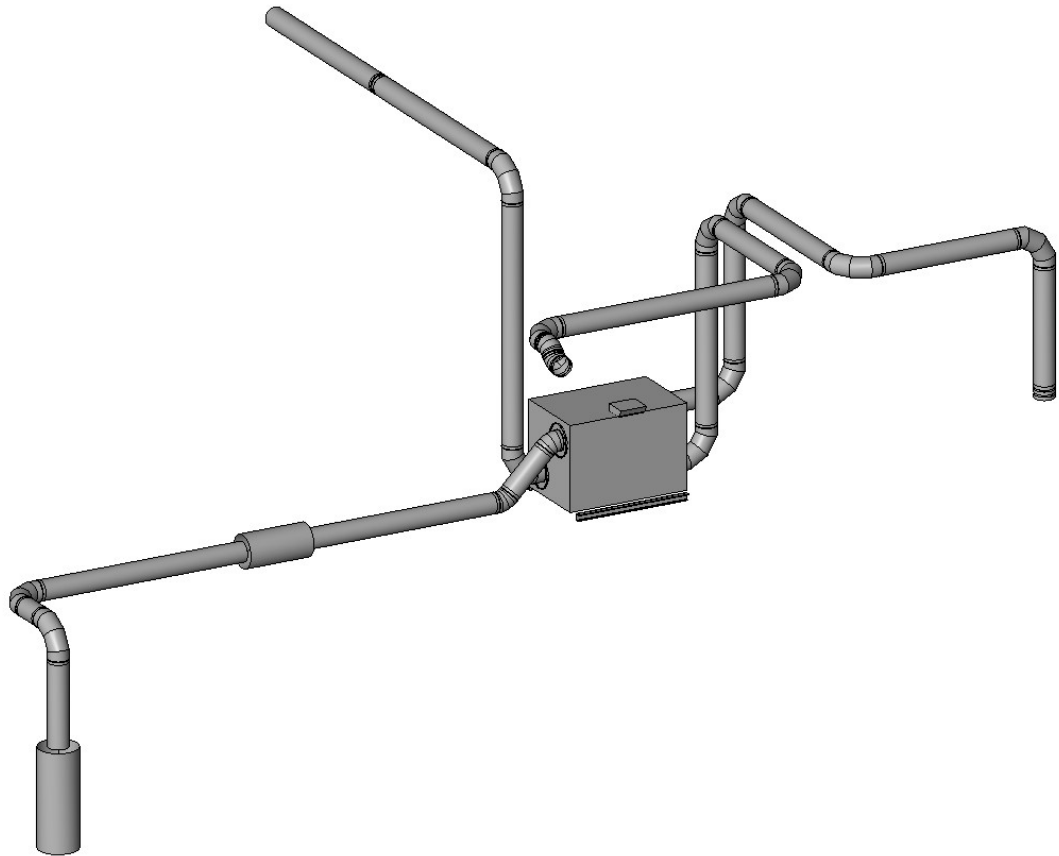




# CHALMERS

---



## Laborationsrigg för värmeåtervinning - med tillhörande laborationshandling

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MATTIAS BERGH  
GUSTAV NÄSMAN



EXAMENSARBETE ACEX20-19-19

# Laborationsrigg för värmeåtervinning

- med tillhörande laborationshandling

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MATTIAS BERGH

GUSTAV NÄSMAN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019

Laborationsrigg för värmeåtervinning  
- med tillhörande laborationshandling  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Samhällsbyggnadsteknik*  
MATTIAS BERGH  
GUSTAV NÄSMAN

© MATTIAS BERGH, GUSTAV NÄSMAN, 2019

Examensarbete ACEX20-19-19  
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Modell av laborationsrigg ritad i programvaran Revit.  
För mer information, se Kapitel 3.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Göteborg 2019

Laborationsrigg för värmeåtervinning  
- med tillhörande laborationshandling

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

MATTIAS BERGH

GUSTAV NÄSMAN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Avdelningen för installationsteknik har under en tid haft för avsikt att låta studenter vara med och påverka utformandet av laborationer som ges inom avdelningens ämnesområde. Detta examensarbete innefattar byggnation av en laborationsrigg för studier av värmeåtervinning och framtagning av ett antal tillhörande laborationsuppgifter anpassade efter de kurser som ges på programmen inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. De tillhörande uppgifterna, med fokus kring temperaturverkningsgrad, är till en början av grundläggande karaktär för att senare succesivt öka i svårighetsgrad och bli mer utmanande. En litteraturstudie inom ämnet luftbehandling samt ett studiebesök hos aggregattillverkaren Swegon är den teoretiska grund vari projektets senare delar förankrats.

Projektets resultat är en laborationsrigg som består av ett luftbehandlingsaggregat från Swegon av modell Gold RX05 vilket är utrustat med en roterande värmeåtervinnare utan fuktöverförande egenskaper. Det praktiska arbetet har i mångt och mycket kretsat kring att utforma ett kanalsystem av enklare karaktär för att främja framtida laboranternas förutsättningar för att snabbt förstå systemets uppbyggnad vid laborationstillfället.

Riggen är uppbyggd på en relativt begränsad yta i avdelningens försökshall, vilket har försvårat arbetet med att få denna på plats. Riggens placering har bidragit till en möjlighet att förbehandla uteluften i ett av de befintliga systemen. På så vis kan laborationsuppgifter utföras oberoende av rådande utluftstillstånd vilket förbättrar förutsättningarna för att implementera uppgifterna oavsett vilken tid på läsåret kurserna ges.

Mätningar har utförts vid olika driftfall och resultat från dessa har analyserats och jämförts med aggregattillverkarens egna mätningar. En sammanställning av resultaten har senare använts som utgångspunkt vid utformandet av laborationsuppgifter som därmed anpassats efter riggen och dess funktionalitet.

De laborationsuppgifter som tagits fram är tänkta att ses som förslag och har endast genomförts av ett fåtal teknologer och bör därför noga gås igenom innan de implementeras i programmets kurser. Den föreslagna laborationshandlingen är ett av arbetets slutliga resultat.

Nyckelord: Temperaturverkningsgrad, luftbehandlingsaggregat, roterande värmeåtervinnare, laborationsrigg.

Laboratory rig for heat recovery

- with an associated laboratory guide

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

MATTIAS BERGH

GUSTAV NÄSMAN

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building Services Engineering  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

The Division of Building Services Engineering has for some time intended to allow students to influence the design of laboratory exercises that are given within the division's subject area. This thesis includes the construction process of a laboratory rig for studies of heat recovery and the production of a number of laboratory tasks adapted to the courses given on the programs in Civil Engineering at Chalmers University of Technology. The associated tasks, focusing on temperature efficiency, are initially of a basic nature and gradually increases towards becoming more challenging. A literature study in air treatment and a study visit to the manufacturer Swegon is the theoretical basis in which the later parts of the project are anchored.

The result of the project is a laboratory rig which consists of an air handling unit named Gold RX05 developed and manufactured by Swegon which is equipped with a rotary heat recovery without moisture transferring capacity. The practical work has revolved around designing a duct system of a simple description in order to support laboratory students to quickly understand the system's structure in a laboratory session.

The rig is set up on a relatively limited area in the department's experimental hall, which has made the work fairly difficult. The location of the rig has contributed to an opportunity to pre-treat the outdoor air in one of the existing air handling units. With this feature laboratory tasks can be performed independent of the outdoor climate conditions which improves the feasibility of implementing the task regardless of what time during the academic year the courses are given.

Measurements have been made in various operating cases and the results have been analyzed and compared with the unit manufacturer's own measurements. A summary of the results has subsequently been used as a starting point in the design of laboratory tasks, which thus have been adapted to the rig and its functionality.

The laboratory tasks that have been developed are to be considered as suggestions and have only been tested by a few technologists and should therefore be carefully reviewed before implemented in the programs' courses. The suggested laboratory guide is one of the final results of the project.

Key words: Temperature efficiency, AHU, air handling unit, air treatment unit, rotary heat exchanger, laboratory rig.

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Frågeställning	2
1.5 Avgränsningar	2
2 LUFTBEHANDLING	3
2.1 Olika typer av ventilationssystem	3
2.1.1 Självdragsventilation, typ S	3
2.1.2 Frånluftsventilation, typ F	5
2.1.3 Till- och frånluftsventilation med återvinning, typ FTX	6
2.2 Komponenter i ett FTX-system	7
2.2.1 Uteluftsintag	7
2.2.2 Spjäll	7
2.2.3 Partikelfilter	8
2.2.4 Värmeåtervinnare och temperaturverkningsgrad	8
2.2.5 Fläkt	11
2.2.6 Värme- och kylbatteri	12
2.2.7 Kanaler	13
2.2.8 Ljuddämpare	13
3 LABORATIONSRIGG	14
3.1 Startskede	14
3.2 Uppbyggnadsskede	15
3.2.1 Uppbyggnad tilluft	16
3.2.2 Uppbyggnad uteluft samt avluft	16
3.2.3 Uppbyggnad frånluft	17
3.2.4 Byte från höger- till vänsterkonfiguration	18
3.3 Larm och felsökning	19
3.4 Tryck- och filterkalibrering	19
3.5 Sammanställning av mätdata	20
3.6 Analys av mätdata	20
3.6.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av luftflöde	21

3.6.2	Temperaturverkningsgrad som funktion av temperaturdifferens	22
3.6.3	Temperaturverkningsgrad vid obalanserade flöden	23
3.6.4	SFP som funktion av luftflöde	24
4	LABORATIONSHANDLING	25
4.1.1	Laborationsuppgift 1 – Grundnivå	25
4.1.2	Laborationsuppgift 2 – Grundnivå	25
4.1.3	Laborationsuppgift 3 – Grundnivå	25
4.1.4	Laborationsuppgift 4 – Avancerad nivå	26
4.1.5	Laborationsuppgift 5 – Avancerad nivå	26
4.2	Testkörning av laborationsuppgifter	26
4.2.1	Testtillfälle 1 – Doktorand	27
4.2.2	Testtillfälle 2 – Studenter	27
5	DISKUSSION	28
5.1	Värmeåtervinning ur ett hållbarhetsperspektiv	28
5.2	Förslag till vidare studier	28
5.2.1	Fuktöverföring i en icke fuktöverförande värmeåtervinnare	28
5.2.2	Spårgas - luftläckage i system	29
5.2.3	Fuktare	29
6	SLUTSATS	30
7	REFERENSER	31
8	BILAGA 1	32



# Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och är en del av högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anders Trüschel och forskningsingenjör Håkan Larsson som möjliggjort detta examensarbete genom löpande konsultation varvat med trevliga pratstunder.

Tack också till Mikael Algotsson och Andrew Lawrenson för ett mycket lärorikt studiebesök på Swegon i Kvänum samt bidrag med komponenter till laborationsriggen.

Göteborg juni 2019  
Mattias Bergh  
Gustav Näsman

# Beteckningar

Förklaring till variabler, förkortningar, termer och symboler som används i rapporten.

## Variabler

$P$	energiflöde [W]
$T$	temperatur [°C]
$H$	höjdskillnad [m]
$g$	tyngdacceleration [ $m/s^2$ ]
$q$	luftflöde [ $m^3/s$ ]
$\eta$	verkningsgrad [%]
$c_p$	specifik värmekapacitet [ $J/kg^\circ C$ ]
$\rho$	densitet [ $kg/m^3$ ]






## Förkortningar

FTX	Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning
SFP	Specific Fan Power (Specifik fläkteffekt) [ $kW/(m^3/s)$ ]

## Termer

Uteluft	Luft i utemiljö samt luft på väg in i luftbehandlingsaggregat
Tilluft	Luft på väg från luftbehandlingsaggregat till ventilerat utrymme
Frånluft	Luft på väg från ventilerat utrymme till luftbehandlingsaggregat
Avluft	Luft på väg från luftbehandlingsaggregat till utemiljö

## Symboler

	Fläkt		Luftflödesriktning
	Filter		Värmeåtervinnare
	Värmebatteri		

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ett ventilationsaggregat med en roterande värmeåtervinnare har införskaffats i syfte att användas vid laborationer där studenter kan lära sig mer om hur temperaturverkningsgraden beror av till- och frånluftsflöden, rotationshastighet på värmeåtervinnaren med mera. Avdelningen har haft för avsikt att få in studenters perspektiv vid utformandet av laborationer och har därför föreslagit att en laborationsrigg kan byggas, samt en laborationshandling utformas, inom ramen för ett studentarbete.

## 1.2 Syfte

Projektet syftar till att utforma och bygga upp en rigg med en värmeåtervinnare och på ett teoretiskt och praktiskt sätt ge fördjupade kunskaper om hur en sådan anläggning fungerar. Riggens är tänkt att utformas på ett sådant sätt att erforderliga mätningar ska kunna genomföras och att data från dessa ska användas för lämpliga laborationsuppgifter. Uppgifterna syftar till att ge framtida studenter möjlighet att öka sin förståelse för hur olika parametrar påverkar värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad.

## 1.3 Metod

Genomförandet av detta projekt delas nedan upp i fem huvudsakliga delar.

**Litteraturstudie** – I takt med att byggnationen av laborationsriggen fortgått har arbetet varvats med en litteraturstudie av tidigare i programmet använd kurslitteratur, rapporter som tilldelats av handledare, aggregattillverkarens produktspecifika instruktioner samt källor som uppsökts via allmänna internetbaserade sökmotorer, se Kapitel 2.

**Studiebesök** – För att bättre förstå hur ett luftbehandlingsaggregat är konstruerat har ett studiebesök hos Swegon genomförts, se avsnitt 2.3.

**Byggnation av laborationsrigg** – En stor del av tiden har ägnats åt praktiskt arbete med att uppföra en laborationsrigg i avdelningens försökshall, se Kapitel 3.

**Analys av mätdata** – Laborationsriggen har testkörts för att möjliggöra en analys av mätdata från styrsystemet, se avsnitt 3.6.

**Framtagande av laborationshandling** – Vid utformandet av laborationsuppgifter för framtida studenter har arbetet bland annat baserats på de resultat som framkommit vid ovan nämnda analys, se Kapitel 4.

## 1.4 Frågeställning

Vid utformande av en laborationsrigg finns många faktorer som påverkar slutresultatet. Projektets syfte är att riggen ska upplevas tydlig och anpassad för sitt huvudsakliga syfte – att främja framtida studenters lärande inom luftbehandling, med fokus på temperaturverkningsgrad. Nedan formuleras ett antal frågeställningar vilka vi har för avsikt att utreda under arbetets gång.

Hur kan en laborationsrigg med en värmeåtervinnare utformas för att främja lärande hos framtida studenter?

Vilka mätbara parametrar kan påvisas ha en tydlig påverkan på värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad?

Vilka följder kan uppstå då ett luftbehandlingsaggregat med en roterande värmeåtervinnare inte driftsätts korrekt?

## 1.5 Avgränsningar

Samtliga beräkningar baseras på mätdata från aggregatets inbyggda övervakningssystem. Mätvärdenas exakthet för de olika driftfallen behandlas ej i detta arbete utan antas vara tillräckligt representativa för att påvisa trender och samband i lärandesyfte vid utformning av laborationshandlingen. I de fall där mätosäkerheten kan vara mer viktig ska detta framgå i det enskilda fallet, vilket också är tänkt att öppna upp för vidare diskussion bland laborerande studenter.

Arbetet med att utforma lämpliga laborationsuppgifter har avsiktligt genomförts utan direkt stöd från litterära källor, då projektets resultat är tänkt att bidra till att ett studentperspektiv inkluderas vid framtida laborationstillfällen inom installationsteknik. Således återstår för kursansvarig att bedöma huruvida de framtagna uppgifterna är lämpliga för den givna kursen eller ej.

## 2 Luftbehandling

Byggnaders inneklimat är en viktig faktor i huruvida människor upplever inomhusmiljön som trivsamt eller inte (Arbetsmiljöupplysningen, u.d.). Begreppet inneklimat innefattar både termisk komfort och luftkvalité. Termisk komfort avser upplevd temperatur i en byggnad och beror av luftens temperatur, rörelser, fuktighet, omgivande yttemperaturer och aktuell aktivitetsgrad (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Luftkvalité innefattar faktorer som fukt, värme, lukt och luftföroreningar. För att reglera dessa parametrar byts luften ut med hjälp av ett ventilationssystem. Hur mycket luft som ska bytas ut, ofta angivet i omsättningar per timme, bestäms då systemet projekteras och det är viktigt att i detta skede ta hänsyn till byggnadens förutsättningar vad gäller värme- och kylbehov samt vilken typ av verksamhet som ska bedrivas (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Enligt Boverket ska ett ventilationssystem utformas för ett lägsta uteluftsflöde om 0,35 l/s per kvadratmeter golvarea, vilket ofta kallas grundflöde (Boverket, 2015). Enligt Folkhälsomyndigheten bör, utöver detta grundflöde, ett tillägg om 7 l/s per person eftersträvas vid stillasittande sysselsättning (Folkhälsomyndigheten, 2014). De ger utöver detta en hel del rekommendationer och råd att ta i beaktning vid utformandet av ett ventilationssystem. Exempelvis bör CO<sub>2</sub>-halten inte överstiga 1000 ppm, även om det tillåtna gränsvärdet är betydligt högre.

### 2.1 Olika typer av ventilationssystem

Vid val av ventilationssystem finns olika former av funktionskrav från myndigheter beträffande luftkvalité, inneklimat och även byggnadens beständighet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Vilken typ av ventilationssystem som bör användas för att nå upp till dessa funktionskrav specificeras dock inte. I regel är det kraven på luftkvalité och termiskt inneklimat som är avgörande i val av ventilationssystem, men hänsyn tas också till exempelvis investerings- och driftskostnad, utrymmesbehov och underhåll.

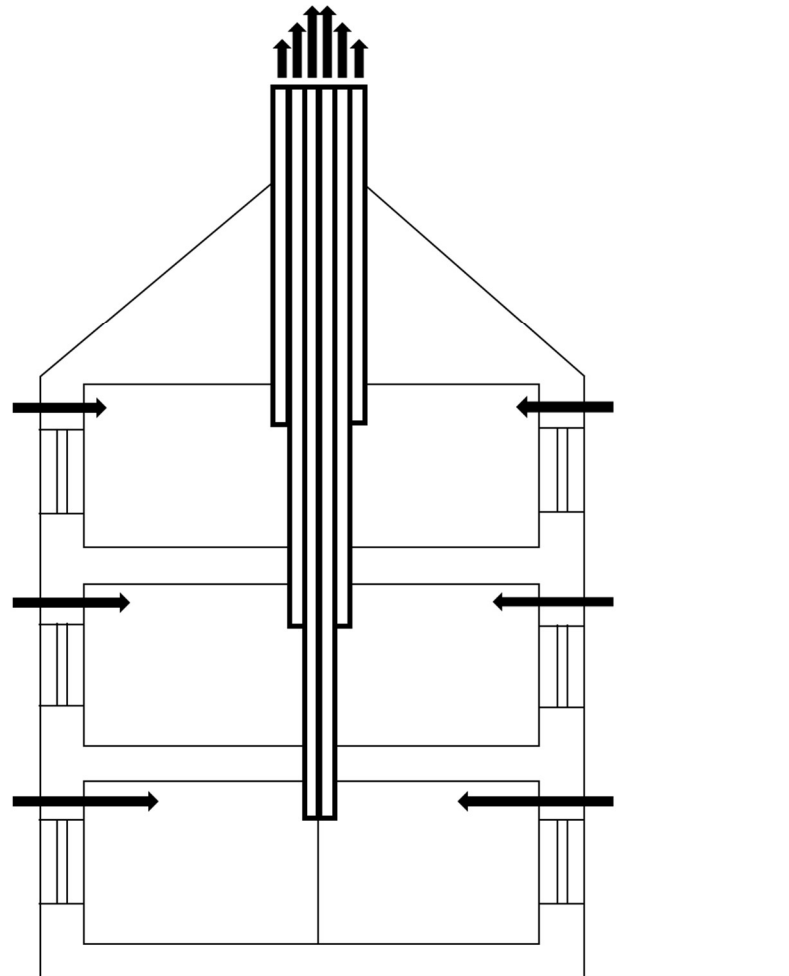
#### 2.1.1 Självdragsventilation, typ S

Ventilationslösningar med självdrag är vanliga i bostadshus byggda före år 1970 och drivs i huvudsak av termiska krafter (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Den termiska kraften, även kallad skorstenseffekten, kan beräknas enligt ekvation (2.1) nedan. Densitetsskillnaden mellan varm inomhusluft och kall uteluft ger upphov till en luftomsättning i byggnaden då den varma inomhusluften stiger i frånluftskanalerna och ny uteluft sugas in i ventiler och otätheter i klimatskalet. Uteluften tas normalt in i vardagsrum och sovrum och frånluften tas normalt från kök, badrum eller tvättstuga (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$\Delta p = H * g * (\rho_u - \rho_i) \quad [\text{Pa}] \quad (2.1)$$

där  $H$  = höjdskillnaden mellan luftens in- och utlopp [m]  
 $g$  = tyngdaccelerationen, 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
 $\rho_u$  = uteluftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho_i$  = inneluftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

Med en större nivåskillnad mellan in- och utlopp blir drivkraften större, vilket illustreras i Figur 2.1 nedan. Detta gäller även för en större temperaturskillnad mellan inne- och uteluft. Dessa två faktorer, samt att även vindförhållandena påverkar ett självdragssystem, gör det svårt att uppnå en önskad termisk komfort i hela byggnaden året om. Filtrering av uteluften är också svårt att lösa, då systemets självdragskrafter i regel har svårt att övervinna tryckfall över filter (FTX-ventilation, 2012). Självdragsventilation ger också upphov till ett relativt högt energibehov för byggnaden, då värmen i frånluften inte kan återvinnas. Uppvärmning av tilluften sker därför i regel med radiatorer, placerade under fönster (Energybuilding, u.d.).

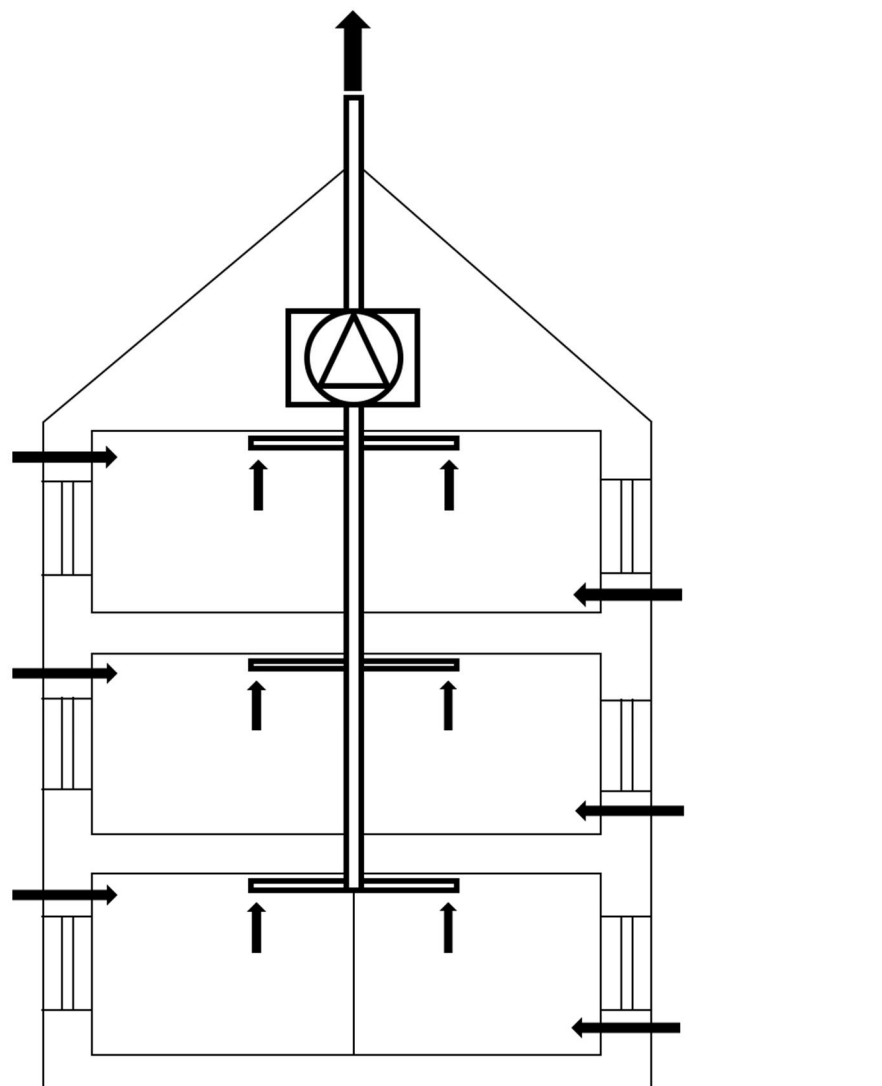


Figur 2.1 Principiell utformning av självdragsventilation, typ S.

Systemet kan kompletteras med en fläkt vid varje avluftshuv för att med påtvingad konvektion ge upphov till en tillräcklig luftomsättning då den naturliga konvektionen under sommarhalvåret är alltför liten. Systemet benämns då som fläktförstärkt självdrag, typ FFS.

## 2.1.2 Frånluftsventilation, typ F

I ett system med frånluftsventilation skapar en frånluftsfläkt ett undertryck i byggnaden och tillförseln av ny luft sker via uteluftsventiler som vanligtvis är placerade vid fönster i vardagsrum och sovrum, där radiatorer värmer den nya luften (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Frånluften tas via frånluftsdon i kök och badrum vidare uppåt i ett intilliggande schakt och alla frånluftsdon måste injusteras för att rätt luftflöde ska uppnås. Denna injustering kan anses omständlig, då injustering av ett don kan påverka luftflödet i flertalet andra don som är anslutna till samma kanalsystem, se figur 2.2 nedan.

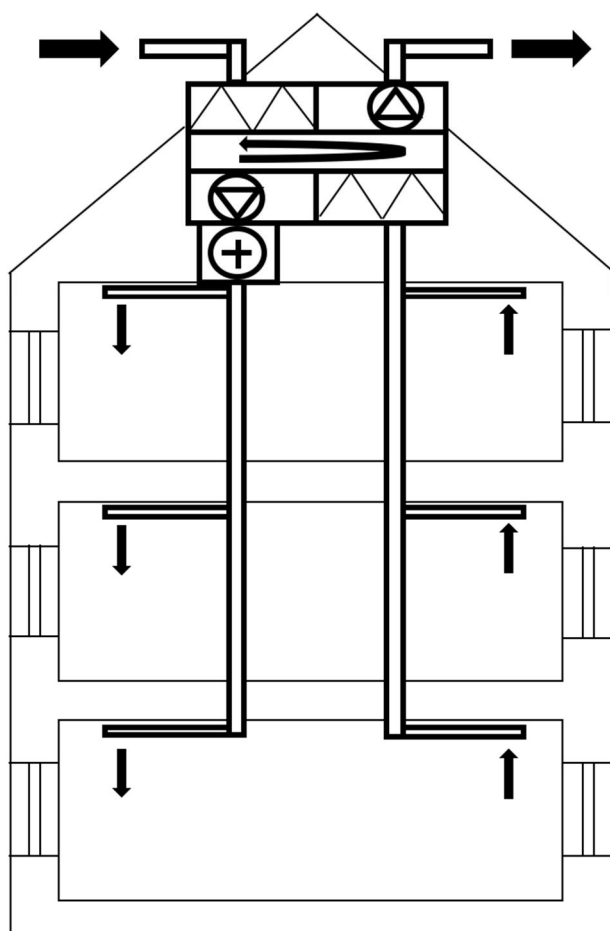


Figur 2.2 Principiell utformning av frånluftsventilation, typ F.

Luftflödet i systemet kan påverkas beroende på utetemperaturen och dess inverkan på självdragskrafter i vertikala kanaler (Warfvinge & Dahlblom, 2010). För att kunna ta detta i beaktning bör fläkten vara tryckreglerad för att dämpa eventuell överventilering vid låga utetemperaturer. Beträffande energi så drar fläkten in ett frånluftssystem elenergi och värmen återvinns i regel inte även om möjligheterna finns att komplettera systemet med en frånluftsvärmepump. Systemet benämns i sådant fall som frånluftsventilation med värmepump, typ FVP.

### 2.1.3 Till- och frånluftsventilation med återvinning, typ FTX

Till- och frånluftsventilation med återvinning, förkortat FTX, är vanligt i lokalbyggnader så som kontor, skolor, sjukhus, varuhus etc. där luftflödena är stora och det i regel också finns ett kylbehov (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det har under de senaste åren också blivit allt vanligare att nya bostäder förses med FTX-system för att uppnå Boverkets komfort- och energikrav (Hellberg, 2015). Ett korrekt utformat och skött FTX-system ska i teorin bidra till ett bättre inneklimat än F- och S-system. I praktiken är så inte alltid fallet, då ett FTX-system kräver mer injustering och skötsel av de ingående komponenterna för att systemet ska fungera korrekt. Tillsammans drar fläktarna i ett FTX-system mer än dubbelt så mycket elenergi jämfört med ett F-system. Detta beror dels på att det är två stycken fläktar och dels för att de måste ge upphov till en större tryckhöjning för att ventilationsluften ska passera exempelvis värmeväxlare och filter, se Figur 2.3 nedan.



Figur 2.3 Principiell utformning av till- och frånluftsventilation med återvinning, typ FTX.



## 2.2 Komponenter i ett FTX-system

För att få ett fullt fungerande FTX-system krävs ett antal komponenter med olika specifika funktioner. Dessa komponenter listas nedan.

- Uteluftsintag
- Spjäll
- Filter
- Värmeåtervinnare
- Fläkt
- Värme- och kylbatteri
- Kanaler
- Ljuddämpare

### 2.2.1 Uteluftsintag

Ett uteluftsintag förser ventilationsanläggningen med uteluft som bör hålla en hög kvalitet med avseende på olika föroreningar så som partiklar från trafikerade vägar, industrier, skorstenar, garage, luftning av spillvatten samt den egna byggnadens avluft (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Intaget bör därför placeras på ett sådant sätt att normal vindriktning bidrar till att ovan nämnda föroreningar inte förs in i byggnaden samt att solbelysta ytor undviks för att minska risken för övertempererad uteluft under sommarhalvåret.

Uteluftsintag utformas som olika varianter av huvar vilka är försedda med galler och insektsnät med avsikt att förhindra att regn, snö och insekter tar sig in i ventilationssystemet (Hagab, 2014). Galler och insektsnät bör dimensioneras efter det tänkta luftflödet i byggnaden, då hastigheten på tilluften vid gallret inte skall överstiga 2,5 m/s. Vid för höga lufthastigheter riskerar regn och snö att sugas in i systemet vilket kan medföra korrosionsskador på kanaler eller att filter fuktskadas (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

### 2.2.2 Spjäll

För att styra luftflödet i ventilationssystemets kanaler används olika typer av spjäll (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

- *Intagsspjäll* placeras mellan luftintag och fläktaggregat med uppgiften att bland annat förhindra luftrörelser i uteluftskanalen då aggregatet inte är i drift.
- *Injusteringsspjäll* används för att luftflödet ska fördelas rätt mellan systemets olika kanalstråk.
- *Reglerande spjäll* används i vissa system för att reglera ventilationsflödet under drift med hjälp av motorstyrning med signal från en tryckgivare.
- *Brandspjäll* används för att avgränsa brandgaser i ventilationssystem. Vid brand stängs spjället och rökgaser hindras från att spridas till andra utrymmen utanför brandcellen.

### 2.2.3 Partikelfilter

De föroreningar som finns i uteluften eftersträvas att tas om hand i ett tidigt skede i ventilationssystemet. Detta för att skapa en bra luftkvalité ur mänsklig synpunkt, men också för att skydda ventilationsanläggningen från korrosion och nedsmutsning (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Även frånluften är viktig att filtrera då mycket damm ansamlas i luften, vilket riskerar att sänka verkningsgraden i värmeåtervinnaren då dessa partiklar försmutsar värmeväxlaren. I kontor och bostäder används i regel grovfilter och finfilter, medan det i mer krävande miljöer, som exempelvis operationssalar, ofta används mikrofilter.

I ett filter är fibrernas struktur avsedd för antingen mekanisk avskiljning eller elektrostatisk avskiljning av partiklar enligt följande definition:

- Silning – partiklarna fastnar mellan filterfibrerna.
- Tröghetsverkan – partiklarna fastnar rakt på en fiber, inte emellan två fibrer.
- Interception – mindre partiklar fastnar på fibrerna med van der Waals-krafter.
- Diffusion – mycket små partiklar rör sig i en slumpmässig bana och fastnar till slut med van der Waals- krafter.
- Elektrostatisk avskiljning – fibrerna ges elektrisk laddning som attraherar partiklarna.

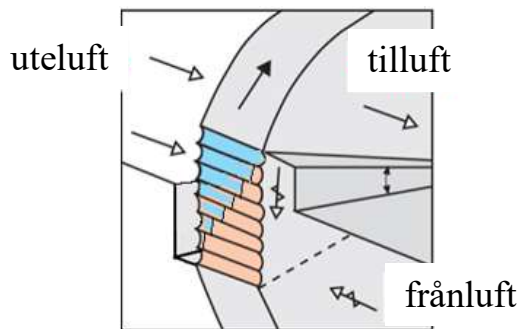
### 2.2.4 Värmeåtervinnare och temperaturverkningsgrad

Tre vanliga typer av värmeåtervinnare är:

- Roterande värmeväxlare
- Plattvärmeväxlare
- Vätskekopplad värmeväxlare

En *roterande värmeväxlare* består av en cylinderformad rotor med en mängd små kanaler där luft kan passera (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Kanalerna byggs upp genom att tunn aluminiumplåt veckas och rullas samman enligt ett optimerat mönster med avsikt att skapa många små kanaler som tillsammans bildar en stor värmeöverförande yta. Allt eftersom rotorn cirkulerar i aggregatet sker ett värmeutbyte mellan varm frånluft och kall uteluft. En roterande värmeväxlare ger upphov till ett ökat tryckfall om cirka 100 Pa, vilket medför att fläkten måste skapa en omkring 100 Pa större tryckdifferens som kompensation för att erhålla önskat luftflöde (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Då både till- och frånluft passerar genom samma kanaler i rotorn riskeras överföring av smuts eller partiklar, vilket inte är önskvärt. Detta löses med hjälp av en så kallad renblåsningssektor (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Metoden bygger på att ett högre undertryck skapas i frånluftsdelen och via en smal passage offras en liten mängd uteluft som sugas till frånluften och då tar med sig oönskade föroreningar, se figur 2.4.



Figur 2.4 Principiell utformning av en renblåsningssektor (Swegon 2019).

Studier har visat att omkring 35 % av de granskade systemen haft en felaktig flätkonfiguration med avseende på läckage (Carlsson, Kovacs, Karlsson, Ruud, & Fransson, 1995). I de fall då fläktarna varit rätt installerade framgår att det i 62 % av fallen förelåg en felaktig tryckbalans. Det är alltså av största vikt att kontrollera tryckbilderna över rotorn, och installera fläktar korrekt för att minimera överföring i roterande värmeväxlare.

Vad gäller överföring av olika gasformiga föroreningar föreligger risk främst vid användande av hygroskopiska rotormaterial, så kallade fuktöverförande värmeåtervinnare (Ruud, 1993). För att kompensera för dessa överföringar bör uteluftsflödet ökas med 20 % utöver hygienflöden (Carlsson, Kovacs, Karlsson, Ruud, & Fransson, 1995).

En *plattvärmeväxlare* består av en mängd metallplattor som är sammanfogade med ett visst avstånd mellan varandra, där till- och frånluft växelvis passerar vinkelrätt mot varandra. Fördelen med plattvärmeväxlare är att de olika luftflödena inte kommer i kontakt med varandra tack vare de täta skiljeväggarna (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Metoden är effektiv för att säkerställa att bakterier, virus, pollen och andra partiklar inte överförs mellan de två luftflödena. Som en extra säkerhet brukar tilluften ha ett högre tryck som då säkerställer att eventuella läckage sker till frånluften.

*Vätskekopplad värmeväxlare*, som även kallas batterivärmeväxlare, är en sammankoppling mellan två separata växlare. En enhet sitter på frånluftsidan och den andra på tilluftsidan. Dessa två enheter är sammankopplade med en krets som pumpar värmeöverförande vätska i ett slutet system. Värmeväxlarna är uppbyggda med rörkanaler som är sammanfogade med tunna metallplattor och det är dessa metallplattor som endera tar upp respektive avger värme. Systemet tillåter stor flexibilitet då till- och frånluft inte behöver vara närliggande, utan tilluft kan exempelvis vara på en våning och frånluft på en annan (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Temperaturverkningsgraden skiljer sig en del mellan de tre typerna av värmeåtervinnare (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Högst har den roterande värmeåtervinnaren med upp till 85 % verkningsgrad, följt av plattvärmeväxlarens 50–60 % och lägst ligger den vätskekopplade värmeväxlaren med enbart 50% verkningsgrad, mycket på grund av att värmeväxlingen mellan luft och fluid inte är en optimal metod. Generellt för samtliga värmeväxlare gäller att underhåll och service utförs enligt specifikation då smuts och damm sänker verkningsgraden.

Temperaturverkningsgraden hos en värmeåtervinnare beskriver dess förmåga att överföra värme och beräknas som förhållandet mellan den erhållna temperaturändringen och den största tillgängliga temperaturdifferensen. Det vill säga, nyttig temperaturförändring dividerat med potentiell temperaturförändring, enligt ekvation (2.6) – (2.8) nedan. Temperaturverkningsgraden varierar beroende på bland annat värmeåtervinnarens utformning och det aktuella driftfallet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$\eta_{till} = \frac{T_{\hat{a}} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} \quad [-] \quad (2.6)$$

$$\eta_{från} = \frac{T_{från} - T_{av}}{T_{från} - T_{ute}} \quad [-] \quad (2.7)$$

$$\eta_{till} * q_{till} = \eta_{från} * q_{från} \quad [m^3/s] \quad (2.8)$$

där  $T_{\hat{a}}$  = temperatur efter återvinning [°C]  
 $T_{ute}$  = uteluftstemperatur [°C]  
 $T_{från}$  = frånluftstemperatur [°C]  
 $T_{av}$  = avluftstemperatur [°C]  
 $q_{till}$  = tilluftsflöde [m<sup>3</sup>/s]  
 $q_{från}$  = frånluftsflöde [m<sup>3</sup>/s]

## 2.2.5 Fläkt

En ventilationsfläkt, exempelvis en radialfläkt, har till uppgift att skapa drivkraft för flöde i ett kanalsystem. En radialfläkt har antingen framåtböjda (F-hjul), bakåtböjda (B-hjul) eller radiella skovlar, beroende på ändamål. Luften tas in från sidan av fläkten och blåses ut i 90 graders vinkel från intaget (Warfvinge & Dahlblom, 2010). F-hjul är billigare, utrymmessnåla och skapar ett högt flöde. Dock är de inte lika effektiva då verkningsgraden är omkring 55–65 %. B-hjul är dyrare och tar större plats men är samtidigt tystare och har en verkningsgrad omkring 75–85 %.

Gemensamt för alla fläktar är att de har en individuell fläktkurva som beskriver tryckökningen vid olika luftflöden (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I kombination med anläggningens systemkurva, som beskriver kanalsystemets tryckfall vid olika luftflöden, hittas en arbetspunkt. Denna punkt beskriver förhållandet mellan den uppkomna tryckdifferensen och luftflödet i kanalsystemet. Ändras någon av parametrarna, till exempel att filter blir igensatta eller att varvtalet justeras, så kommer även arbetspunkten ändras.

Eldrivna fläktar har olika effektbehov, beroende av ett antal parametrar:

- Luftflöde
- Motorns verkningsgrad
- Tryckökning
- Transmission mellan fläkthjul och motor
- Fläkthjulets verkningsgrad

Med dessa parametrar i beaktning kan man räkna ut den teoretiska verkningsgraden, som endast tar hänsyn till luftflöde och tryckökning, enligt ekvation (2.2) nedan. För det totala effektbehovet måste även förlusterna räknas med, så som motorns och fläkthjulets verkningsgrad, transmissionförluster med mera (Warfvinge 2010, s 2:65). Då gäller ekvation (2.3) nedan.

$$P_{nyttig} = \Delta p * q \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

$$P_{tillförd} = \frac{\Delta p * q}{\eta_{total}} \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

där  $\Delta p$  = total tryckökning [Pa]  
 $q$  = luftflöde genom fläkten [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $\eta_{total}$  = fläktens totala verkningsgrad [-]

## 2.2.6 Värme- och kylbatteri

Med värmebatteri avses antingen en värmare med direktverkande el, eller en vattenburen värmare där varmt vatten pumpas runt i ett slutet system (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ett vattenburet värmebatteri kräver större installationsutrymme då kopparrören, vari det värmebärande vattnet cirkulerar, är försedda med metallplattor för att effektivare överföra värmen. Framledningstemperaturen på vattnet är ofta omkring 80 °C och returtemperaturen runt 40 °C, men kan variera beroende på hur systemet är utformat (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

I båda fallen kan effekten för att värma upp en viss mängd luft beräknas enligt ekvation (2.4) nedan.

$$P = \rho_{luft} * c_{p,luft} * q * (T_2 - T_1) \quad [W] \quad (2.4)$$

där  $\rho_{luft}$  = densitet, luft [kg/m<sup>3</sup>]  
 $c_{p,luft}$  = specifik värmekapacitet, luft [J/kgK]  
 $q$  = luftflöde genom batteriet [m<sup>3</sup>/s]  
 $T_2$  = luftens temperatur före batteriet [°C]  
 $T_1$  = luftens temperatur efter batteriet [°C]

Värmeeffekten på vattensidan av ett vattenburet system, som i regel ska matchas med önskad effekt på luftsidan, kan beräknas enligt ekvation (2.5) nedan.

$$P = \rho_{vatten} * c_{p,vatten} * q * (T_2 - T_1) \quad [W] \quad (2.5)$$

där  $\rho_{vatten}$  = densitet, vatten [kg/m<sup>3</sup>]  
 $c_{p,vatten}$  = specifik värmekapacitet, vatten [J/kgK]  
 $q$  = vattenflödet genom batteriet [m<sup>3</sup>/s]  
 $T_2$  = vattentemperatur före batteriet [°C]  
 $T_1$  = vattentemperatur efter batteriet [°C]

En luftkylare har samma uppbyggnad som en vattenburen luftvärmare. Skillnaden är att kylaren använder kall vätska i kanalsystemet med en ingångstemperatur på omkring 5 °C, vilken hämtas från fjärrkyla eller kylmaskin (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Då temperaturdifferensen mellan varm luft och kall vätska i regel är mindre än motsvarande för ett värmebatteri, måste kylaren ha en större area för att kunna avge motsvarande effekt, vilket medför att ett större installationsutrymme krävs. Temperaturen på kylvattnet ligger ofta under dagpunkten för luften som skall kylas ned, vilket gör att vattenutfällning kan ske. För att undvika skador bör detta vatten ledas till ett avlopp. Just eftersom vatten kan fällas ut vid nedkylning av luft, är detta en vanlig metod att använda då torrare luft eftersträvas.

### 2.2.7 Kanaler

Kanaler distribuerar olika luftflöden i en byggnad, exempelvis till- eller frånluft. Systemet är uppbyggt av runda eller rektangulära kanaler, oftast i galvaniserad plåt men det finns även kanaler av rostfritt stål, aluminium och plast (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Runda kanaler föredras då dessa skapar lägre tryckfall i förhållande till tvärsnittsarea samt att de är billigare, mer lätthanterliga och i regel tätare än rektangulära kanaler. Med hänsyn till energikrav och ljudalstring föredras kanaler med stora tvärsnitt, då även detta bidrar till lägre tryckfall. Detta kan ibland vara svårt att efterleva på grund av begränsande installationsutrymmen. En riktlinje är då att utforma symmetriska system för att lättare åstadkomma snarlika tryckfall i systemets alla grenar (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Då blir också injusteringen av kanalflödena enklare. Injustering innebär att luftflödet stryps i olika delar av systemet för att uppnå önskat flöde vid varje don.

För att undvika temperaturförändringar, kondens på kanaler, ljud- och brandspridning kan både till- och frånluftskanaler isoleras (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Rensluckor installeras för att kanalerna med jämna mellanrum skall kunna rengöras. Vid bristande underhåll av kanalerna ökar brandrisken och kanalerna kan sätta igen, vilket ökar fläktens energibehov.

### 2.2.8 Ljuddämpare

Ett ventilationssystem består av ett flertal komponenter som kan ge upphov till en viss ljudalstring. Fläkten bidrar mer eller mindre beroende på fläkttyp och rotationshastighet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Turbulens som uppstår i kanalsystemet, ofta vid böjar och spjäll, ger i regel upphov till olika typer av oönskade ljud. Detta kan i många fall uppfattas som störande och åtgärdas ofta med hjälp av ljuddämpare, vilka bör placeras strategiskt längs kanalsystemet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ljuddämparen består invändigt av ljudabsorberande material som hålls på plats av en perforerad plåt. Då ljuddämparens invändiga diameter ska överensstämma med kanalen, är ljuddämparens ytterdiameter betydligt större än den anslutna kanalen vilket kräver extra utrymme just vid ljuddämparens placering.

## 3 Laborationsrigg

### 3.1 Startskede

Laborationsriggen är uppförd i Installationstekniks försökshall vid Gibraltargatan 35, ett par stenkast från Chalmers campus Johanneberg. Ett ventilationsaggregat från Swegon, modell Gold RX05, har under en tid funnits i försökshallen men inte varit i bruk utan endast använts för att visa laborerande studenter hur aggregatets olika komponenter är utformade och placerade.

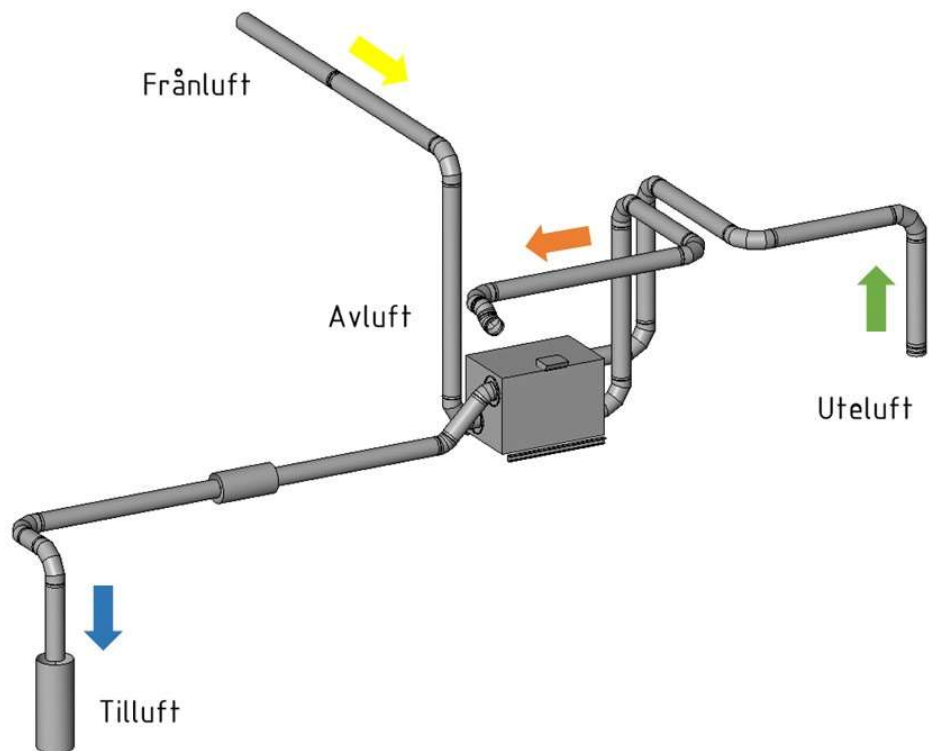
Placering av aggregatet och utformning av systemets kanaler var i stort fastställt sedan tidigare. Då försökshallen rymmer flertalet andra installationssystem har det också varit viktigt att ta hänsyn till att dessa inte påverkas negativt av det nya systemet. Kanaler har i största möjliga mån monterats i takhöjd för att underlätta passage och har i övrigt placerats på ett sådant sätt att de inte ska vara i vägen för eventuella vidareutvecklingar av andra system. Vi har samtidigt haft en vision om att systemets utformning ska vara pedagogisk och lättöverskådlig för att laboranter på ett snabbt och smidigt sätt ska förstå hur systemet är uppbyggt.

Systemets uteluft tas från en redan befintlig uteluftskanal i byggnaden och avluft släpps ut via en befintlig genomföring med galler högt upp i byggnadens fasad. Detta för att undvika nya genomföringar i byggnadens klimatskal. Då det fanns önskemål om att förbehandla uteluften med hjälp av ett redan befintligt system, valde vi att montera flexslang en viss sträcka och på så vis möjliggöra anslutning av uteluft, dels på befintlig uteluftskanal, men också på den så kallade filterriggens returkanal. Filterriggen har nämligen möjlighet att recirkulera ett luftflöde och värma alternativt kyla detta. Det finns på så vis möjlighet att simulera ett önskat uteluftstillstånd vilket möjliggör att fler laborationsuppgifter går att genomföra oberoende av rådande uteluftstillstånd. Värt att notera är att denna lösning endast möjliggör förbehandling av uteluften med avseende på temperatur och inte ökad luftfuktighet. För att åstadkomma en ökad luftfuktighet krävs att filterriggen utrustas med en luftfuktare, vilket inom detta projekt inte varit aktuellt.

En modell av laborationsriggen har ritats i programvaran Revit för att enklare åskådliggöra systemets utformning där samtliga kanaler är namngivna efter respektive luftflöde, se Figur 3.1. Aggregatet i Revit-modellen är hämtat från en databas med BIM-objekt och är av modellen Swegon Gold RX (Objects, 2013). Tilluftskanalen är försedd med en ljuddämpare samt ett deplacerande don som sprider luften i flera riktningar.

För bilder på diverse ingående komponenter med förklarande text, se avsnitt 3.2.





Figur 3.1 Modell av laborationsriggen ritad i programvaran Revit.

### 3.2 Uppbyggnadsskede

Som ett förberedande steg inför arbetet med att praktiskt bygga laborationsriggen, krävdes en mindre ombyggnad av ett redan befintligt system. För att skapa plats åt den nya riggen flyttades en befintlig frånlufts kanal som även kompletterades med en frånluftsfläkt och erforderliga infästningsanordningar för att säkerställa systemets funktion, se Bild 3.1. Ny kanaldragning placerades mellan dörr och entresol i ett begränsat och relativt svåråtkomligt utrymme.



Bild 3.1 Ny kanaldragning av befintlig frånlufts kanal med tillhörande frånluftsfläkt.

### 3.2.1 Uppbyggnad tilluft

Tilluftskanalen monterades längs med entresolen, ovan befintligt kylbaffelsystem. Infästning löstes med hjälp av så kallade vaggor som i sin tur fästs med gängstång och vinkeljärn. Som Bild 3.2 visar används infästningsanordningen till både tilluftskanal och befintligt kylbaffelsystem. Övriga komponenter, så som ljuddämpare samt deplacerande don, monterades vid ett senare skede.



*Bild 3.2 Tilluftskanal monterad ovan befintliga kylbafflar.*

### 3.2.2 Uppbyggnad uteluft samt avluft

Av- och utluftskanal har monterats i takhöjd för att möjliggöra passage längs med entresolen, se Bild 3.3, vilket medförde att flertalet 90-gradersböjar monterades. Kanalerna är infästa i TRP-taket via pendlar av gängstång som fästs med självborrande farmaskrur.

Uteluftskanalen viker av åt vänster i Bild 3.3. Då uteluften vid behov ska kunna förbehandlas, beroende på uteklimat och önskad temperatur på uteluft, monterades en så kallad flexslang med egentillverkade handtag i plåt. En sådan flexibel kanal möjliggör enkla förflyttningar mellan obehandlad och förbehandlad uteluft.

Avluften dras således åt höger i Bild 3.3. Denna passerar ovan befintlig I-balk för att ansluta till genomföring i fasad. Utrymmet runt den befintliga genomföringen är högst begränsad och en måttanpassad dimensionsövergång tillverkades i försökshallens verkstad, se Bild 3.4. Under årets kalla dagar finns risk för drag vid samtliga otätheter i fasaden. För att minimera läckage tätades därför samtliga skarvar och dimensionsförändringar med cellplast och ventilationsfog.



*Bild 3.3 Av- och utluftskanal delvis monterade i takhöjd.*



*Bild 3.4 Avluftskanalens dimensionsövergång mot befintlig genomföring i klimatskal.*

### **3.2.3 Uppbyggnad frånluft**

Frånluftsintaget placerades så långt bort från tilluftsdonet som var praktiskt möjligt för att främja en god luftförling i byggnaden. Frånluftskanalen drogs således i takhöjd för att senare anslutas till aggregatets övre vänstra anslutning. Takinfästning utfördes på samma sätt som tidigare beskrivits i avsnitt 3.2.2. Då denna kanal korsar vägen för den befintliga traversen måste delar av frånluftskanalen lätt kunna demonteras vid behov. Som en säkerhetsåtgärd tillverkades två säkerhetsstopp som monterades på var sin I-balk, se bild 3.3, för att vid oaktsam användning av traversen undvika kollision. Tillverkning av säkerhetsstoppen utfördes i Prototypplabbet i Maskinhuset på campus Johanneberg med material från avdelningen för Energiteknik.

### 3.2.4 Byte från höger- till vänsterkonfiguration

Aggregatet levererades från tillverkning enligt så kallad högerkonfiguration, vilket innebär att frånluften tas in upptill i aggregatets högra sida. Denna fabrikskonfiguration passar inte alla installationer och ett enkelt byte kan då göras med ett fåtal knapptryck på aggregatets handenhet (Swegon, 2016).

Frånluftsanslutningen byter då plats med tilluftsanslutningen i aggregatet och en ny flödeskonfiguration är programmerad. Den enda praktiska ombyggnaden som krävs är att grovfiltret och dess plåtfästen flyttas till tilluftsflödets nya position, se Bild 3.5 och Bild 3.6.



*Bild 3.5 Plåtfästets tidigare position.*



*Bild 3.6 Plåtfästets nya position.*

Efter ett studiebesök på Swegons fabrik i Kvänum monterades slutligen de övriga komponenterna som Swegon så vänligt valt att bidra med till projektet. Ett deplacerande don monterades på gaveln av entresolen och en ljuddämpare monterades på tilluftskanalen. Ett antal kombinerade temperatur- och fuktgivare kopplades också till aggregatets styrenhet för att möjliggöra mätningar med avseende på fukt i laborationsriggens olika luftflöden.

### 3.3 Larm och felsökning

Vid uppstart av aggregatet fanns ett antal larm aktiva. Dessa kan avläsas under Larmlogg i aggregatets handenhet. Med hjälp av angiven felkod kan en larmbeskrivning letas upp i Swegons dokument för drift- och skötsel­anvisning (Swegon, 2016). Nedan anges en av de aktiva larmkoderna från uppstartstillfället.

*”55–60:10 FRÅNLUFTSFLÄKT 1–3/A-B MOTORSTYRNING  
STRÖMBEGRÄNSNING”*

Larmet klassas som ett B-larm och medför därför inte driftstopp. Vid fortsatt drift uppdagades att uppmätt frånluftsflöde var begränsat och vi kunde därav konstatera att larmet var tvunget att felsökas för att aggregatet ska fungera tillfredsställande. Aggregatet stängdes ner och strömförsörjningen kopplades ur för en okulär felsökning av elsystemet.

Efter en lekmannamässig genomsökning av elsystemet, utan resultat, byttes fläktpaketens position mot varandra för att utesluta eventuellt komponentfel. Då felet kvarstod på samma position fastslogs att felet bör återfinnas i denna del av aggregatet. Vid närmare kontroll av tryckgivarna uppdagades en felkoppling av ett T-stycke i anslutning till frånluftsfläkten. Detta fel åtgärdades efter konsultation med Swegons support och larmet inaktiverades. Efter en lyckad testkörning kunde problemet anses vara löst.

### 3.4 Tryck- och filterkalibrering

Enligt anvisningar i Swegons produktinformation har en tryckkalibrering för att säkerställa läckageriktning genomförts. Kalibreringen görs med hjälp av en tryckmätare som kopplas på de redan fördragna tryckslangarna som finns intill aggregatets styrenhet. Önskvärt är att ha ett differenstryck om ca 0–20 Pa över till- och frånluftssidan, där frånluften har ett 0–20 Pa större undertryck än tilluften (Swegon, 2016). Detta för att luftläckaget över värmeåtervinnaren ska vandra från tillufts­sidan till frånluftsidan av aggregatet och på så vis motverka risken för oönskat läckage i motsatt riktning.

Aggregatets styrsystem är utrustat med en funktion kallad filterkalibrering (Swegon, 2016). Med hjälp av denna loggas tryckdifferensen över filtren och aggregatet kan på så vis skicka ut ett felmeddelande då filtren blivit smutsiga och ett filterbyte är att rekommendera. Denna kalibrering bör utföras då aggregatet är driftsatt och slutgiltiga tryckförhållanden råder samt efter varje gång filterbyte utförts.

### 3.5 Sammanställning av mätdata

Efter att systemet kalibrerats utfördes ett antal mätningar för att erhålla data från aggregatet, vilken loggas i aggregatets inbyggda styrsystem, IQlogic. Detta microprocessorbaserade system styr och reglerar fläktar, värmeåtervinnare, temperaturer, luftflöden, drifttider, larm samt ett antal interna och externa funktioner (Swegon, 2016). Systemet har också en loggfunktion som sparar över loggfiler till ett SD-kort monterat i aggregatets styrkort. En ny loggfil i formatet .csv skapas för varje dygn och kan senare exporteras manuellt och öppnas i Excel.

Aggregatet har möjlighet att anslutas trådlöst via Wi-Fi och med hjälp av funktionen Loggsender kan loggfiler automatiskt skickas till valfri e-postadress (Swegon, 2016). Då Chalmers har en omfattande säkerhetspolicy vad gäller anslutning av enheter till skolans trådlösa nätverk valde vi att ta den enkla vägen och nå dessa filer manuellt via SD-kortet.

### 3.6 Analys av mätdata

I loggfilerna finns mätvärden med loggningsintervall på en minut, det vill säga 1440 loggningar per dygn. Vid varje mättillfälle loggas ett trettiotal parametrar vilket bidrar till att mängden data i filerna till en början kan upplevas svåröverskådlig. Vi har valt att analysera ett urval av dessa parametrar och sammanställt vissa samband i diagramform i Excel. Analysen av dessa samband tas vidare i utformandet av laborationsuppgifterna, tänkta som ett förslag till laborationshandling.

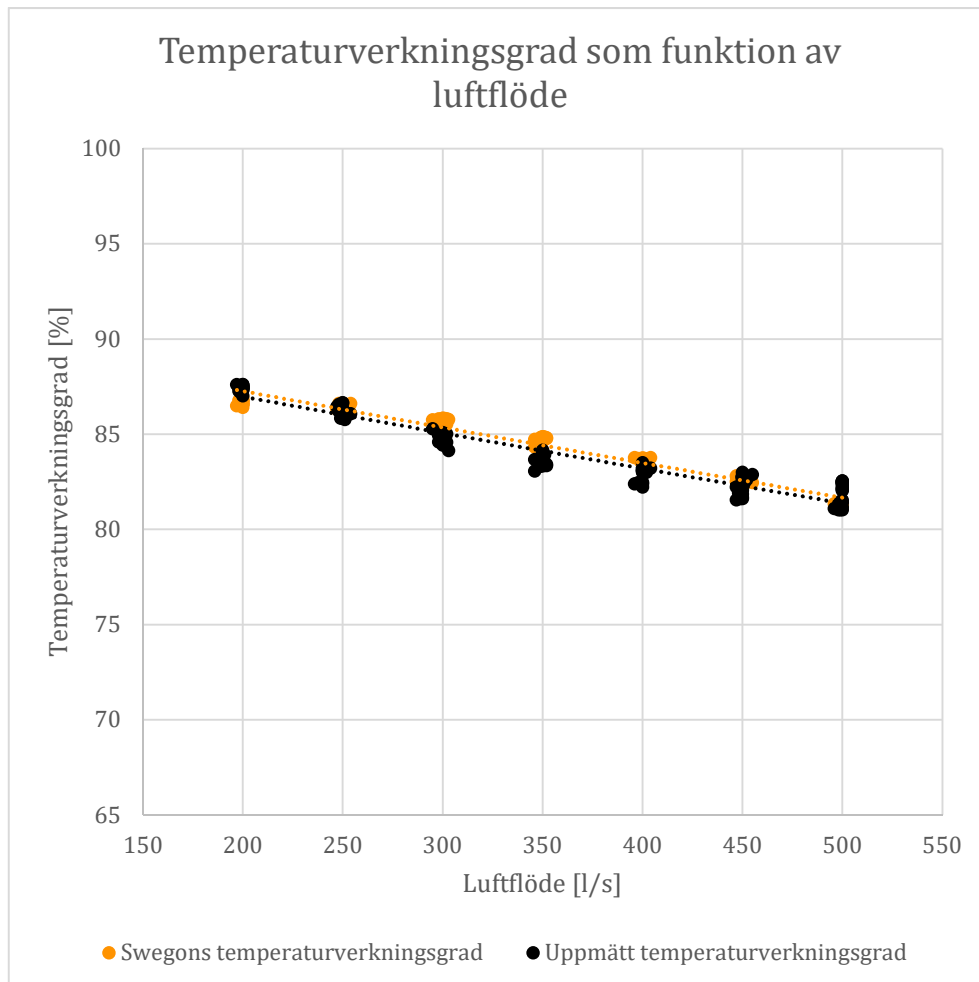
I analysen används, av aggregatets styrenhet, redan beräknade värden som referens för att verifiera våra egna beräkningsgångar och på så vis kunna göra en rimlighetsbedömning av resultaten. Exempelvis redovisar Swegons aggregat en temperaturverkningsgrad som inte baseras på temperaturer vid det aktuella driftfallet.

Efter ett studiebesök hos Swegon i Kvänum kunde tillvägagångssättet för hur Swegon redovisar temperaturverkningsgraden bekräftas av deras utvecklingsingenjör, Andrew Lawrenson. I Swegons aggregat redovisas en temperaturverkningsgrad som är baserad på noggrant utförda mätningar i laborationsmiljö hos tillverkaren. Utifrån dessa mätningar bestäms verkningsgraden teoretiskt som en funktion av luftflöde och rotnors varvtal. Den verkningsgrad som redovisas har således ingen direkt koppling till verkliga temperaturer vid det aktuella driftfallet. Huvudorsaken till detta är att det anses svårt att mäta en representativ medeltemperatur i aggregatet då luftrörelserna är turbulenta och temperaturskiktningarna är stora sett över kanalernas tvärsnitt. Tanken med att redovisa denna teoretiska verkningsgrad är att kunna ge en relativt bra indikation på vilken verkningsgrad som kan förväntas av värmeåtervinnaren.

Vad gäller uppmätta temperaturer från aggregatets inbyggda temperaturgivare finns en viss mätosäkerhet, dels på grund av givarnas exakthet, men också på grund av givarnas placering i luftflödesriktningens tvärsnitt. Denna mätosäkerhet är en del av förklaringen till varför uppmätta värden skiljer sig från Swegons redovisade värden, vilket framkommer i figur (3.2–3.4).

### 3.6.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av luftflöde

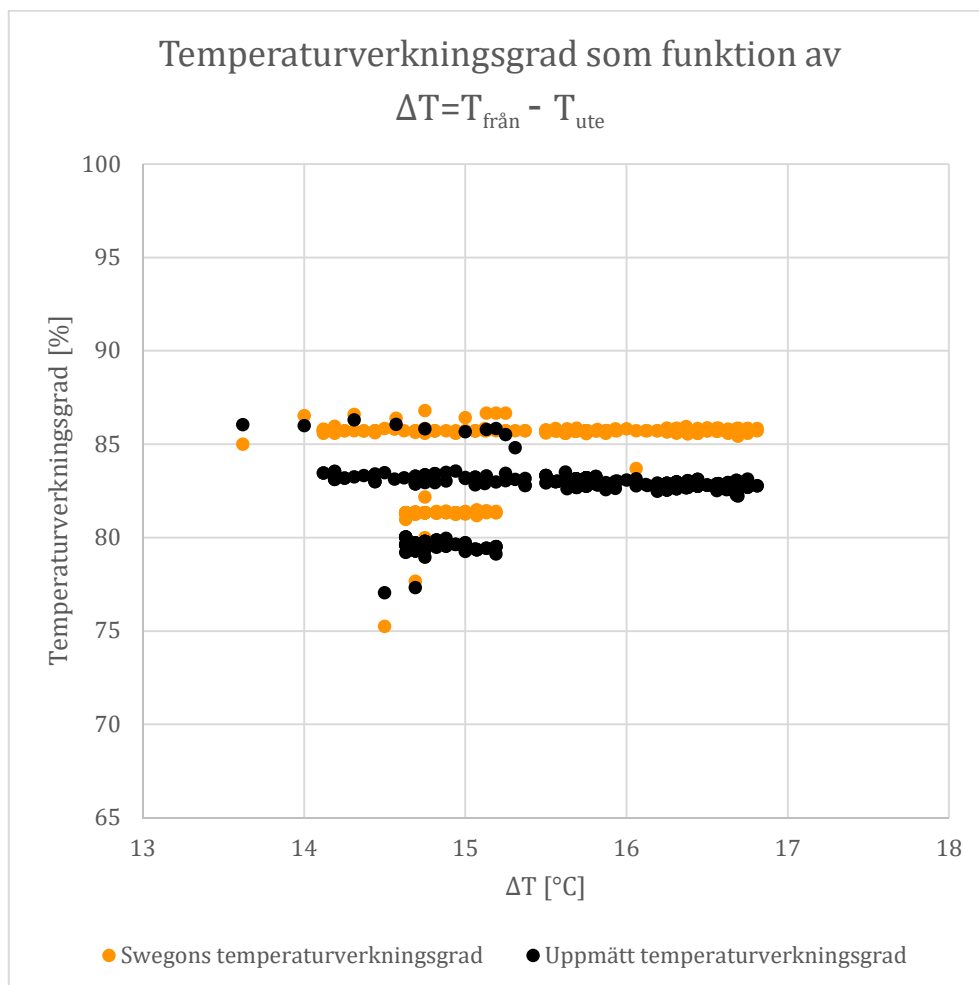
Laborationsriggen har körts vid olika balanserade luftflöden. Körningens temperaturverkningsgrad redovisas i Figur 3.2 nedan som funktion av luftflöde. En noterbar trend är att temperaturverkningsgraden avtar något med ökat flöde, vilket vi tar med i arbetet vid utformandet av laborationsuppgifter. Beräkning av temperaturverkningsgraden har gjorts enligt ekvation (2.6).



Figur 3.2 Temperaturverkningsgrad som funktion av luftflöde.

### 3.6.2 Temperaturverkningsgrad som funktion av temperaturdifferens

För att undersöka temperaturverkningsgradens beroende av temperaturdifferensen mellan ute- och frånluft har verkningsgraden plottats som funktion av denna temperaturdifferens, se Figur 3.3. Körningar gjordes vid i huvudsak två olika flöden. Därav är mätvärdena uppdelade i två tydliga kluster. Då variationen i temperaturdifferensen vid försöket var relativt begränsad kunde ingen vidare påverkan på verkningsgraden upptäckas. Körningar i mer varierade driftfall bör köras för att eventuellt kunna påvisa en trend. Denna del av analysen tas därför inte vidare i arbetet med att utforma laborationsuppgifter.

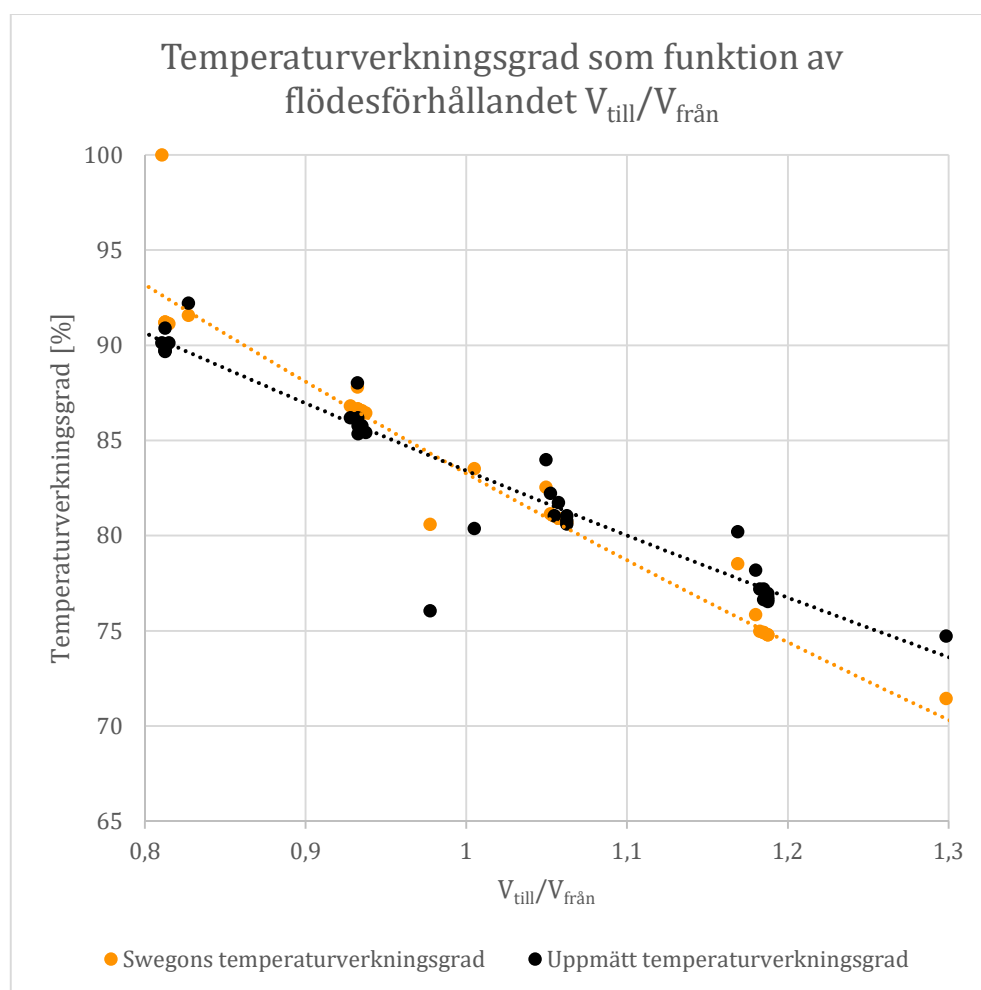


Figur 3.3 Temperaturverkningsgrad som funktion av temperaturdifferens.



### 3.6.3 Temperaturverkningsgrad vid obalanserade flöden

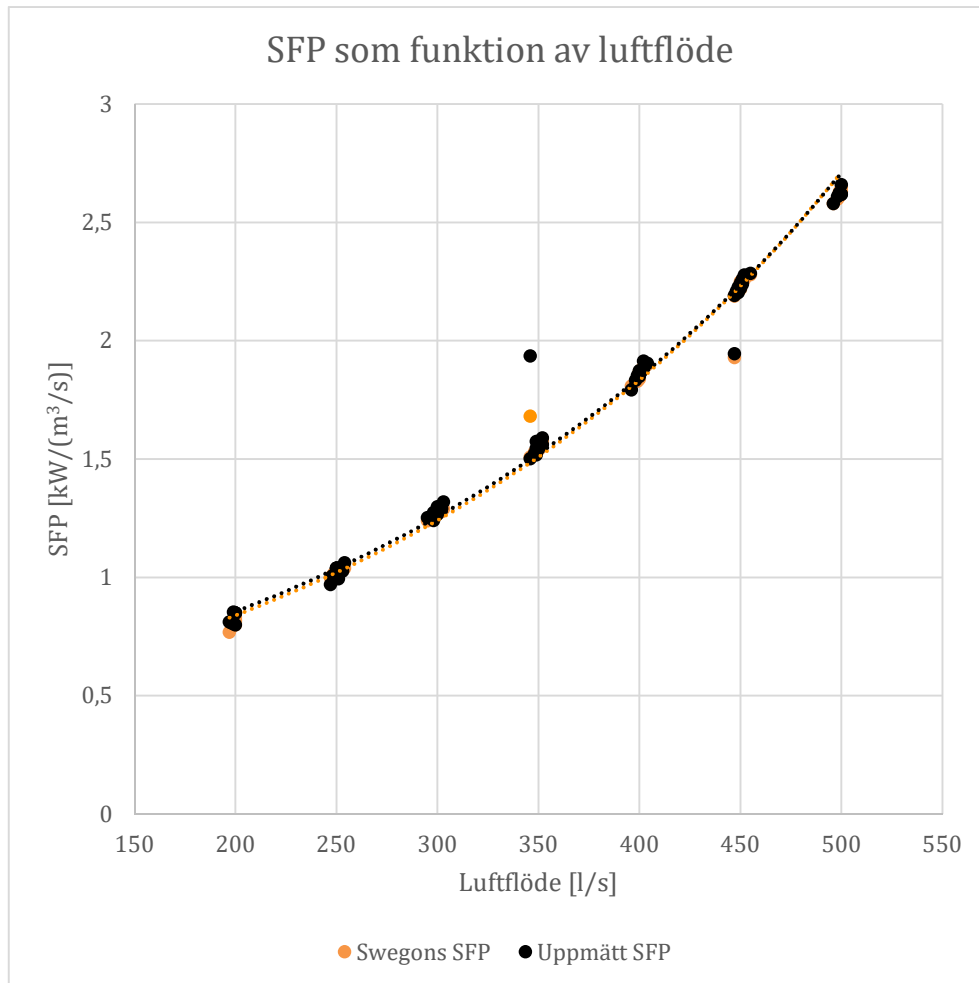
Mätningar har gjorts med konstant frånluftsflöde och varierande tilluftsflöde för att påvisa en variation på temperaturverkningsgraden på tilluftssidan. Flödesförhållandet är vid balanserade flöden 1 och vid lägre tilluft- än frånluftsflöde mindre än 1. I Figur 3.4 framgår att ett minskat tilluftsflöde medför en ökad temperaturverkningsgrad och vice versa. Dock bör påpekas att det vid drifttillfället var en relativt liten temperaturdifferens mellan från- och uteluft, vilket medför att den uppmätta temperaturverkningsgraden avviker från Swegons redovisade temperaturverkningsgrad. Denna del av analysen tas vidare i arbetet med att utforma laborationsuppgifter.



Figur 3.4 Temperaturverkningsgrad som funktion av flödesförhållandet.

### 3.6.4 SFP som funktion av luftflöde

För att undersöka sambandet mellan den specifika fläkteffekten, SFP, har laborationsriggen körts med olika luftflöden. Mätningar har sammanställts i Figur 3.5 där SFP plottats som funktion av luftflöde. En väntad trend från mätningarna är att SFP tydligt ökar vid ett ökat luftflöde, vilket vi tar med i arbetet vid utformandet av laborationsuppgifter. De båda graferna är också mycket lika och det kan därför antas att beräkningen av de båda är baserade på samma mätvärden. Denna del av analysen tas vidare i arbetet vid utformandet av laborationsuppgifter.



Figur 3.5 SFP som funktion av luftflöde.

## 4 Laborationshandling

Som en del av detta arbete har ett förslag till laborationsuppgifter tagits fram. Uppgifterna har anpassats efter den uppbyggda laborationsriggens förutsättningar och är tänkta att främst lägga fokus kring värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad. En del av uppgifterna är dock av mer övergripande karaktär för att ge laborerande studenter en introducerande överblick av riggens uppbyggnad.

Denna del av arbetet är tänkt att bidra till att studenters perspektiv inkluderas i processen att utforma laborationshandlingar. Huruvida de föreslagna uppgifterna kommer att användas i undervisningen framöver har inte beslutats utan lämnas till framtiden att visa. Uppgifterna är tänka att vara fristående och behöver alltså inte göras i nummerordning. Nivån på uppgifterna varierar då vi haft för avsikt att ge förslag på laborationer i kurser på såväl grund- som avancerad nivå.

Nedan ges förklaringar och tankar bakom varje enskild laborationsuppgift. Laborationsuppgifterna har även testats vid två tillfällen, se avsnitt 4.2. Laborationshandlingen återfinns i sin helhet som Bilaga 1.

### 4.1.1 Laborationsuppgift 1 – Grundnivå

Uppgiften syftar till att ge laboranterna en orientering av systemet där komponenter i aggregatet och längs kanalstråken ska lokaliseras. För att underlätta redovisningen av detta har komponenterna i förväg numrerats och kan på så vis paras ihop med i uppgiften angivna komponentnamn. Uppgiften innefattar också en grundläggande beräkning för luftomsättning samt guidning i hur beräknat luftflöde kan ställas in i aggregatets styrenhet. Avslutningsvis jämförs den uppmätta temperaturverkningsgraden med Swegons teoretiska temperaturverkningsgrad och öppnar upp för diskussion kring tänkbara felkällor och resonemang kring vilka komponenter som påverkar temperaturgivarna i aggregatet. Redovisning av denna diskussion är tänkt att ge laborationshandledare möjlighet att skapa sig en bättre bild av hur laboranterna tänker och eventuellt ge vidare förklaringar.

### 4.1.2 Laborationsuppgift 2 – Grundnivå

I denna uppgift beräknas temperaturverkningsgraden på ett sätt som är tänkt att tydligt återkoppla till en grundkurs i utbildningens tidigare del. Även här öppnas det upp för en avslutande diskussion med avsikt att ge laboranterna tillfälle att reflektera över vad temperaturverkningsgraden baseras på och vilka olika parametrar denna kan beräknas utifrån. Avslutningsvis ges en uppgift gällande luftens entalpi med hjälp av ett så kallat mollierdiagram med avsikten att återkoppla till utbildningens grundkurs inom luftbehandling.

### 4.1.3 Laborationsuppgift 3 – Grundnivå

SFP, specifik fläkteffekt, beräknas vid olika flöden och plottas sedan för att påvisa sambandet däremellan. De beräknade värdena jämförs med aggregatets redan angivna värde och kan på så vis rimlighetsbedömmas. Ett krav på maximalt tillåtet SFP är tänkt att representera ett beställarkrav och egna mätningar och beräkningar ligger till grund för att plotta SFP som funktion av flöde. Samma sak görs för

temperaturverkningsgrad för att påvisa sambandet däremellan, det vill säga låga flöden medför lågt SFP och hög temperaturverkningsgrad och vice versa.

Uppgiften tas vidare genom att med hjälp av varaktighetsdiagram uppskatta hur mycket energi som kan återvinnas sett över ett år. Detta översätts senare i en kostnad per kilowattimme i avsikt att konkretisera energiåtervinningen i form av kostnadsbesparing och på så vis motivera varför FTX-system kan vara lönsamma ur ett driftkostnadsperspektiv.

#### **4.1.4 Laborationsuppgift 4 – Avancerad nivå**

Uppgiften syftar till att simulera en mycket varm sommardag, då uteluftstemperaturen är högre än frånluftstemperaturen, vilket möjliggör kylåtervinning i aggregatets värmeåtervinnare. Simulering av ett sådant klimat kan anses överflödigt då det endast inträffar under en mycket begränsad del av året här i Norden, men rör vi oss söderut aktualiseras denna funktion allt jämnt i takt med att användningen av komfortkyla ökar. Vi har därför valt att ändå utforma en uppgift för att visa även denna återvinningsfunktion. Insikten av att värmetransport kan ske även i motsatt riktning i rotorn anser vi bidrar till en djupare förståelse för återvinnarens relativt enkla grundprincip om att låta varm luft värma metallen i rotorn som i aggregatets andra kanal kan värma upp kallare luft. Principen är densamma även i fallet kylåtervinning.

Denna kylåtervinning jämförs sedan med alternativet att erhålla samma effekt med hjälp av ett kylbatteri. Begreppet COP-tal, Coefficient Of Performance, introduceras för att återkoppla till kunskaper från tidigare kurser inom området.

Avslutningsvis görs ett antagande att systemet i framtiden är tänkt att utrustas med en fuktare i frånluftskanalen för att tillämpa så kallad indirekt evaporativ kylning. Denna deluppgift är tänkt vara av en svårare karaktär och lämpar sig väl för den som är lite extra intresserad då den kräver goda förkunskaper för att lösas.

#### **4.1.5 Laborationsuppgift 5 – Avancerad nivå**

I uppgiften behandlas risken för oönskat läckage i en roterande värmeåtervinnare och de tekniska lösningar som har för avsikt att minska denna. För att reglera läckageriktningen är en injustering av tryckförhållandet mellan till- och frånluft i aggregatet oerhört viktig. Mätning av detta tryck sker dels vid normalflöde för att påvisa att en korrekt injustering gjorts, men också vid ett mycket lågt flöde för att visa på att det då föreligger en ökad risk för oönskat läckage. Detta är en situation som kan tänkas bli allt mer vanlig i takt med att behovsstyrda system installeras och vi anser det därför vara aktuellt att belysa.

### **4.2 Testkörning av laborationsuppgifter**

Utöver att vi själva genomfört uppgifterna så har även Maria Jangsten, doktorand på avdelningen för installationsteknik, ställt upp som försöksperson. Dessutom har våra opponenter Malin Karlsson och Cornelia Lönqvist fått tillfälle att dels granska riggen, men också genomföra ett antal uppgifter för att på så vis skapa förutsättningar för en mer djupgående och givande opponering. Testkörningarna har genomförts med avsikten att bättre förstå hur uppgifterna upplevs som laborant.

### 4.2.1 Testtillfälle 1 – Doktorand

Tisdagen den 21 maj 2019 genomfördes laborationsuppgifterna av Maria Jangsten, doktorand på avdelningen för installationsteknik. För att återskapa ett så autentiskt laborationstillfälle som möjligt, så var Maria inte informerad om uppgifterna i förväg utan fick tillgång till den framtagna laborationshandlingen först på plats i försökshallen.

De första tre uppgifterna upplevdes som tydliga och väl lämpade för studenter på grundnivå. Uppgift 1 och 2 upplevdes som väldigt lika, men har egentligen inte för avsikt att göras vid samma tillfälle. Dessa är tänkta som två fristående förslag, där endast den uppgift som anses mest lämpad för aktuell kurs bör väljas. Detta urval överlämnas till kursansvarig för varje enskild kurs.

Uppgift 4 och 5 genomfördes endast delvis på grund av tidsbrist, samt att filterriggen som förbehandlar luften inte var fullt fungerande. Dock hann vi tillsammans gå igenom uppgifterna och resonera kring vad dom behandlar. De upplevdes vara av mer avancerad karaktär och kräver en viss förkunskap för att genomföras. Vi upptäckte då exempelvis att en renblåsningszon är svår att beskriva i ord och att en figur bör bifogas i handlingen, vilken kan användas som utgångspunkt för resonemang kring hur renblåsningszonen ser ut och fungerar. Ett avsnitt av uppgift 5, där en kalibrering av tryckförhållanden över rotorn studeras, har vi tidigare valt att utesluta då vi ansett det vara för riskabelt att koppla på mätutrustning intill aggregatets inkommande el. Ett förslag om att förbereda momentet med fördragen mätutrustning diskuterades fram och bör vidare utredas ifall detta avsnitt ska implementeras i framtida kurser.

### 4.2.2 Testtillfälle 2 – Studenter

Torsdagen den 23 maj 2019 genomfördes delar av laborationsuppgifterna av två teknologer från högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik, tillika våra opponenter, Malin Karlsson och Cornelia Lönqvist. Teknologerna hade haft tillgång till materialet ett antal dagar före laborationstillfället, då de i egenskap av opponenter påbörjat en granskning av rapporten.

Deluppgift A och B, uppgift 1, löste teknologerna utan större bekymmer då de kunde resonera sig fram till var de olika komponenterna är placerade men även använda uteslutningsmetoden. Vidare i uppgiften ansågs textförklaringen vara bristande vid uppstart av aggregatet. Detta har nu förtydligats i laborationshandlingen. Resterande del av uppgift 1 kunde lösas med viss handledning, på grund av att inget formelblad med givna ekvationer är bifogat handlingen. Teknologerna påpekade att ett formelblad hade varit önskvärt då det inte framgick helt tydligt vad som efterfrågades i uppgiften. Teknologerna påpekade även att strukturen på uppgift 1 G inte var helt självklar. Det föreslogs därför att uppgiften tydligare delas upp och att svar anges i anslutning till varje enskild frågeställning.

Större delen av den avsatta tiden ägnades åt uppgift 1. Resterande uppgifter valdes därför att muntligen gås igenom och uppfattades av teknologerna som intressanta och lärorika. Uppgift 4 och 5 konstaterades som mer avancerade och teoretiskt krävande.

## **5 Diskussion**

### **5.1 Värmeåtervinning ur ett hållbarhetsperspektiv**

Värmeåtervinning har en tydlig koppling till hållbar utveckling, då tekniken används i syfte att minska byggnaders totala energibehov. Att bidra till att framtida studenter ges goda förutsättningar för att lära om värmeåtervinning och dess verkningsgrad är högst relevant ur ett hållbarhetsperspektiv. Uppvärmning av byggnader står för en ansevärd del av det totala energibehovet, både sett ur ett livscykelerspektiv för en enskild byggnad, men också sett till samhällets totala energibehov.

Energieffektiviseringar görs på flera håll i samhället och en bredare tillämpning av värmeåtervinning kan bidra positivt till samhällets ambition om att minska vår miljö- och klimatpåverkan.

### **5.2 Förslag till vidare studier**

För att utveckla och bredda användningsområdet för denna laborationsrigg skulle en påbyggnad av befintligt system med fler komponenter kunna genomföras för att skapa möjligheter att utföra mer avancerade laborationsuppgifter. I dessa förslag kan det förekomma påståenden eller frågeställningar som inte är bevisade och bör därför endast ses som just förslag på vidare studier som eventuellt kan bringa mer klarhet och kunskap om ett system med värmeåtervinning av detta slag.

#### **5.2.1 Fuktöverföring i en icke fuktöverförande värmeåtervinnare**

Laborationsriggen är försedd med tre kombinerade fukt- och temperaturgivare. Dessa är monterade i kanalerna för till-, från- och avluft. En intressant aspekt att undersöka kan vara hur fuktverkningsgraden ändras över tid, då den initialt ska vara noll.

Verkningsgraden bör enligt viss teori ändras, vilket vi kommit fram till genom diskussioner med lärare, handledare samt produktutvecklare hos Swegon. Orsakerna till en förändrad fuktverkningsgrad kan i huvudsak kopplas till ålder samt nedsmutsning.

Under tiden aggregatet är i drift varierar luftfuktigheten. Aggregatet kan också utsättas för stora temperaturdifferenser vilket på sikt skulle kunna ge upphov till materialutmattning i aggregatets rotor, vilket kan tänkas bidra till fuktöverföring. Vid slarv i samband med filterbyte eller icke regelbundet byte av filter kan smuts och partiklar sätta sig i rotorkanalerna som sedan även det kan tänkas bidra till att fukt överförs. Som idé till framtida studier föreslås ett arbete kring hur fuktverkningsgraden ändras över tid i en icke fuktöverförande rotor. Värt att notera för denna föreslagna studie är att just detta aggregat inte är igång i någon större utsträckning och åldringsprocessen kan därför antas ske mycket långsamt.

## 5.2.2 Spårgas - luftläckage i system

Det finns ett antal studier gjorda som undersöker om roterande värmeväxlare ger upphov till ett oönskat läckage av frånluft till tilluftssidan. Vissa påstår att roterande värmeväxlare inte kan bli helt täta, medan andra menar att så länge man håller koll på tryckdifferensen över rotorn och driftsätter systemet korrekt så är riskerna mycket små. Dessa motsägelser skapar osäkerhet i branschen som skulle kunna leda till att stora energiförluster uppstår då energibesparande system inte tillåts användas i vissa lokaler med klimatkänslig verksamhet som exempelvis sjukhus.

En intressant studie skulle då vara att ta reda på om det föreligger risk för läckage i laborationsriggen i försökshallen. Ett sätt att kontrollera läckage är med spårgas. Det finns olika metoder att använda sig av, till exempel att mäta olika halter av ämnen/spårgas i luften för att se om värdena har förändrats före och efter rotorn.

## 5.2.3 Fuktare

En intressant aspekt att titta närmare på är hur olika kylsystem skulle kunna användas i laborationsriggen och hur de fungerar. Vill man kyla luften utan att använda en kylmaskin, eller inte har tillgång till fjärrkyla så kan man tillsätta fukt, även kallad evaporativ kylning. Det finns två metoder vilka benämns som direkt och indirekt evaporativ kylning. Vid direkt evaporativ kylning tillsätts fukt i tilluften för att sänka dess temperatur. Indirekt kylning innebär att fukt tillsätts i frånluften för att sänka temperaturen innan värmeåtervinnaren. För just indirekt evaporativ kylning lämpar sig en icke fuktöverförande värmeåtervinnare bra. Uteluften kan då förbehandlas och värmas i filterriggen.

## 6 Slutsats

En laborationsrigg bör i största möjliga mån utformas på ett så enkelt vis som möjligt för att inte ta fokus från studenternas lärande. En rigg där den laborerande studenten snabbt kan lokalisera och identifiera de ingående komponenterna ger goda förutsättningar för att kunna lägga fokus på laborationsuppgiften och reflektera kring dess resultat. Det är ofta i en reflekterandeprocess som den djuplodade förståelsen erhålls och diskussionsmoment spelar därför en viktig roll i lärandesyfte.

Den laborationsrigg som färdigställts kan vid användande tydligt påvisa temperaturverkningsgradens beroende av luftflödenas storlek. Vid obalanserade till- och frånluftsflöden har verkningsgraden ett tydligt beroende av flödesförhållandet. Temperaturverkningsgradens eventuella beroende av temperaturdifferensen mellan från- och uteluft har inte kunnat påvisas.

I de fall där luftbehandlingsaggregat med roterande värmeåtervinnare inte driftsätts korrekt finns viss risk för läckage över rotorn. Driftsättningen är därför av yttersta vikt för att säkerställa att ett aggregat uppfyller de projekteringskrav som det dimensionerats mot.

Projektet har innefattat flertalet delmoment som haft ett tydligt kronologiskt beroende av varandra, vilket satt vår planeringsförmåga på prov. Vi har under projektets gång haft löpande avstämningar där vi också planerat inför kommande arbetsmoment och tagit höjd för oförutsedda händelser. Våra mål och förväntningar har under projektets framfart anpassats efter vad som visat sig vara genomförbart, så väl tekniskt som tidsmässigt.

Exempelvis fanns från början en tanke om att fördjupa oss kring värmeåtervinnarens uppbyggnad och hur denna beräkningsmässigt dimensioneras. Men då det huvudsakliga målet, att utforma laborationsuppgifter, visade sig vara mer tidskrävande än vi kunnat förutspå valde vi att utesluta det tänkta fördjupningsarbetet och istället lägga fullt fokus på huvudmålet. Vi har också fått välja bort ett antal förslag till laborationsuppgifter då dessa krävt mätvärden som vi helt enkelt inte kunnat avläsa från laborationsriggen.

Vi upplever att vi på ett självständigt sätt drivit projektet framåt och har först i de situationer då vi identifierat ett visst problem valt att kontakta handledare eller annan lämplig person för hjälp och stöttning. Samarbetet oss emellan har i stort fungerat väl. Vi har under arbetets gång lagt märket till att vi ofta haft olika syn på hur arbetet bör fortgå och vad vi förväntar oss som resultat. Denna insikt har ökat vårt motiv för en god kommunikation oss emellan samt medfört att vi noggrannare utrett och reflekterat över de beslut vi tagit under projektets gång.

Att i ett och samma projekt kombinera praktiskt arbete med teori anser vi vara ett ypperligt tillvägagångssätt att lära och sätta de olika rollerna i en byggprocess i relation till varandra. En god förståelse för hur olika intressen och synsätt ibland kan motsätta varandra, men i slutänden måste vägas samman för att skapa ett så bra resultat som möjligt, anser vi vara en nyckelfärdighet som framtida samhällsbyggare.

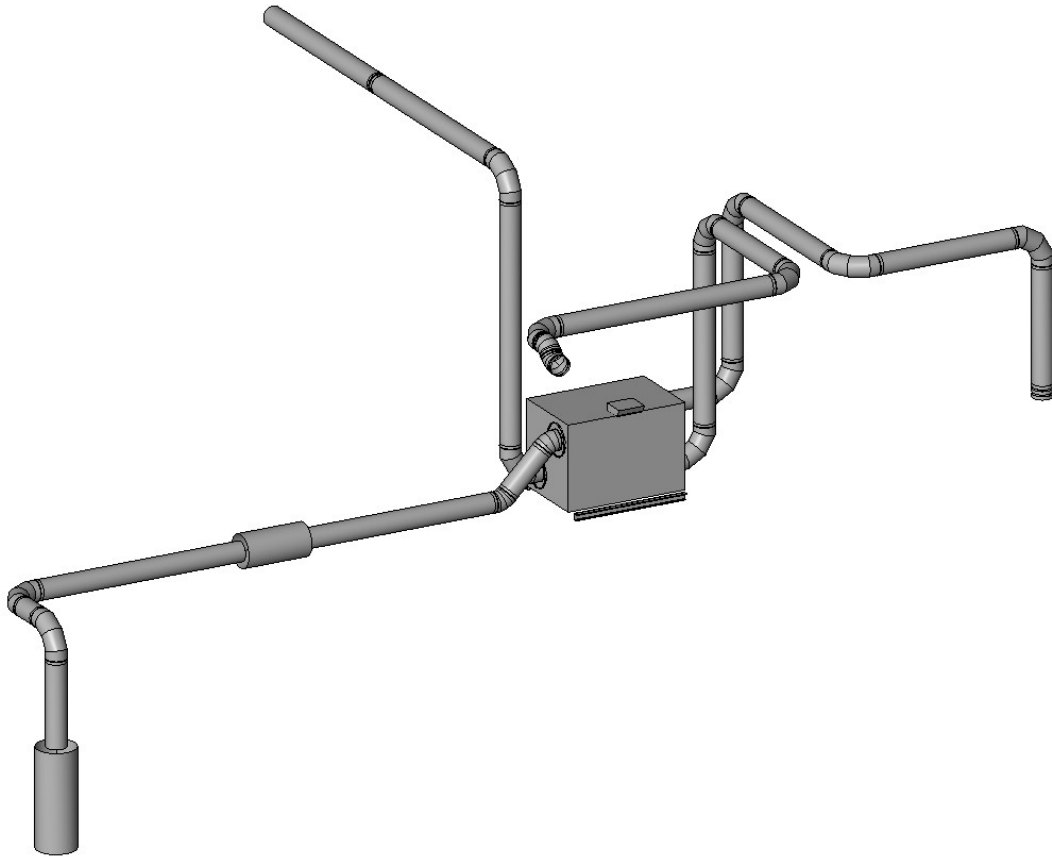


## 7 Referenser

- Arbetsmiljöupplysningen. (u.d.). *Inomhusklimat*. Hämtat från <https://www.arbetsmiljoupplysningen.se/Amnen/Inomhusklimat/>
- Boverket. (Mars 2015). *Boverkets byggregler*. Hämtat från <https://www.boverket.se/globalassets/vagledningar/kunskapsbanken/br/bbr-21/avsnitt-6-bfs-2011-6-tom-2014-3.pdf>
- Carlsson, T., Kovacs, P., Karlsson, M., Ruud, S., & Fransson, J. (1995). *Undersökning av ett stort antal installationer med roterande värmeåtervinnare*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Energybuilding. (u.d.). *energybuilding.se*. Hämtat från <https://www.energybuilding.se/sjalvdragsventilation/>
- Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkmyndighetens allmänna råd om ventilation*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/641784832543443ea4eebe9b300c244e/fohmfs-2014-18.pdf>
- FTX-ventilation. (den 29 03 2012). *FTX-ventilation.se*. Hämtat från <http://ftx-ventilation.se/ventilation/filtrering-av-inomhusluften>
- Hagab. (2014). *Takhuvar-Takgenomförningar*. Hämtat från [https://www.hagab.com/wp-content/uploads/2014/11/HAGAB\\_PRODUKTBLAD\\_Takhuvar.pdf](https://www.hagab.com/wp-content/uploads/2014/11/HAGAB_PRODUKTBLAD_Takhuvar.pdf)
- Hellberg, H. (den 19 03 2015). *Bättre miljö i bostäder med FTX-ventilation*. Hämtat från Svensk Ventilation: <http://www.svenskventilation.se/2015/03/battre-miljo-i-bostader-med-ftx-ventilation/>
- Objects, B. (2013). *Sök och ladda hem BIM-objekt*. Hämtat från <https://www.bimobject.com/sv>
- Ruud, S. H. (1993). *Återföring av föroreningar i roterande värmeväxlare- en litteraturstudie/kunskapsrapport*. Borås: SP Sverigen Provnings- och Forskningsinstitut.
- Swegon. (2016). *Drift- och skötselanvisning-Gold RX/PX/CX/SD-Generation E*. Hämtat från [http://www.swegongroup.in/Global/PDFs%20Archive/Air%20handling%20units/GOLD%20version%20E%20\(2013-2017\)/General/\\_sv/GOLDSKE119.pdf](http://www.swegongroup.in/Global/PDFs%20Archive/Air%20handling%20units/GOLD%20version%20E%20(2013-2017)/General/_sv/GOLDSKE119.pdf)
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB, Lund.

## 8 Bilaga 1

# Förslag till laborationshandling



Ett resultat av examensarbetet

## Laborationsrigg för värmeåtervinning - med tillhörande laborationshandling

*Ett examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

MATTIAS BERGH  
GUSTAV NÄSMAN

## Uppgift 1.

- A. Innan aggregatet startas - öppna luckorna och identifiera de numrerade komponenterna vid namn;

**Tilluftsfilter, Frånluftsfilter, Grovfilter, Värmeåtervinnare, Tilluftsfläkt och Frånluftsfläkt.**

1: \_\_\_\_\_ 4: \_\_\_\_\_

2: \_\_\_\_\_ 5: \_\_\_\_\_

3: \_\_\_\_\_ 6: \_\_\_\_\_

- B. Lokalisera kanalerna för de olika luftflödena; **Uteluft, Tilluft, Frånluft, Avluft** samt **Tilluftsdon** och **Ljuddämpare**.

7: \_\_\_\_\_ 10: \_\_\_\_\_

8: \_\_\_\_\_ 11: \_\_\_\_\_

9: \_\_\_\_\_ 12: \_\_\_\_\_

- C. Försökshallen har en uppskattad volym om ca  $720 \text{ m}^3$ . Vilket flöde bör aggregatet ställas in på för att lokalen ska ha en luftomsättning per timme?

**Svar:** \_\_\_\_\_ [l/s]

- D. Vid uppstart av aggregatet - se till att luckorna är ordentligt stängda. *Starta* sedan aggregatet på handenheten. Välj *driftläge - lågfart*.  
Invänta *startfördröjning*...

- E. I menyn till höger (svep åt vänster på skärmen) finns en symbol för *Luftflöde* längst upp till vänster. Här kan luftflödet från Uppgift 1.C ställas in under *Driftnivå*; *Tilluft, lågfart* samt *Frånluft, lågfart*. Dessa flöden ska vara lika stora för att anläggningen ska kunna anses balanserad, dvs  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}}$

- F. På PC-skärmen visas ett flödesschema med aktuella temperaturer, flöden, fläktarnas belastning samt den roterande värmeåtervinnarens rotationshastighet. Denna rotationshastighet, angiven i procent, skall ej förväxlas med värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad.

- G. När systemet stabiliserats, använd aktuella temperaturvärden för att beräkna temperaturverkningsgraden.

**Beräknad temperaturverkningsgrad:** \_\_\_\_\_

Under *Energiövervakning* anges en temperaturverkningsgrad som är baserad på tillverkarens egna, mycket noggrant genomförda tester. Hur väl stämmer er beräknade temperaturverkningsgrad överens med tillverkarens?

Vilka möjliga felkällor kan ni identifiera?

**Swegons temperaturverkningsgrad:** \_\_\_\_\_

**Möjliga felkällor:** \_\_\_\_\_

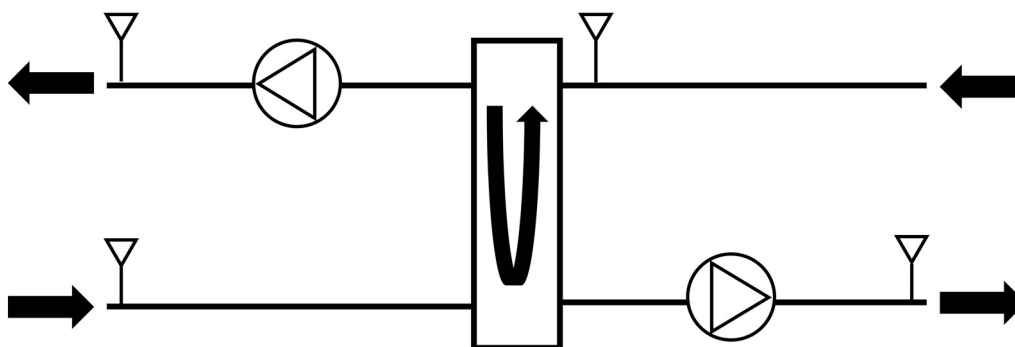
\_\_\_\_\_

- H. Under *Energiövervakning* anges fläktarnas effektförbrukning, angivet i kW. Tilluftsfläkten har en verkningsgrad på omkring 65 %. Hur stor blir temperaturhöjningen över fläkten?

**Svar:** \_\_\_\_\_ [°C]

- I. Antag att frånluftsfläkten har samma verkningsgrad som tilluftsfläkten. Vad blir den beräknade temperaturen i avluften? Beakta temperaturhöjningen över frånluftsfläkten.

**Svar:** \_\_\_\_\_ [°C]



## Uppgift 2.

A. För att räkna ut temperaturverkningsgrad behövs tre parametrar, vilka?

1: \_\_\_\_\_

2: \_\_\_\_\_

3: \_\_\_\_\_

B. Kan temperaturverkningsgraden beräknas med hjälp av andra parametrar? Antag exempelvis att mätvärde för temperaturen i frånluften saknas. Vilka parametrar behövs då?

1: \_\_\_\_\_

2: \_\_\_\_\_

3: \_\_\_\_\_

C. I menyn till höger (svep åt vänster på skärmen) finns en symbol för *Luffflöde* längst upp till vänster. Här kan luftflödet 200 (l/s) ställas in under *Driftnivå*; *Tilluft, lågfart* samt *Frånluft, lågfart*. Dessa flöden ska vara lika stora för att anläggningen ska kunna anses balanserad, dvs  $V_{\text{till}}=V_{\text{från}}$

D. När systemet stabiliserats, använd aktuella temperaturvärden för att beräkna temperaturverkningsgraden. Ställ upp ekvationen samt räkna ut verkningsgraden på aggregatet. Skiljer det sig från Swegons beräknade temperaturverkningsgrad?

För att läsa av Swegons temperaturverkningsgrad:

-Gå till menyn till höger (svep till vänster på skärmen), klicka på *Energiövervakning*

-Läs av angiven *Temperaturverkningsgrad*

**Svar:** \_\_\_\_\_

E. Om verkningsgraden skiljer sig åt, vad kan det bero på? Diskutera i grupp.

**Svar:** \_\_\_\_\_

F. Plotta och jämför tre olika driftfall:

**Fall 1:**  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}} = 200$  [l/s]

Beräknad temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

Swegons temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

**Fall 2:**  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}} = 350$  [l/s]

Beräknad temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

Swegons temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

**Fall 3:**  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}} = 500$  [l/s]

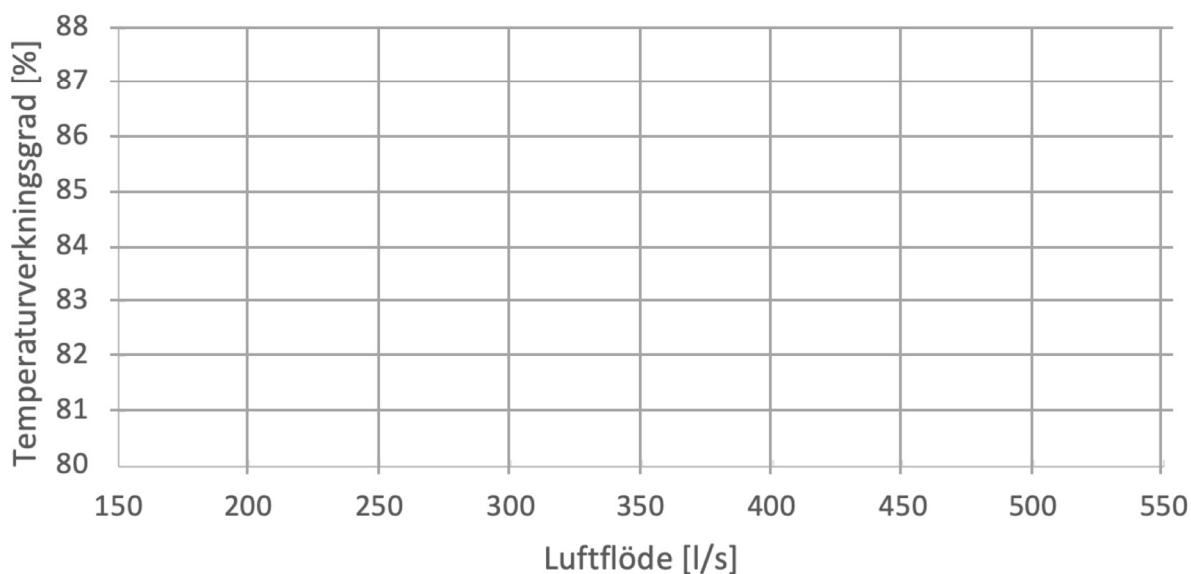
Beräknad temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

Swegons temperaturverkningsgrad: \_\_\_\_ %

Hur påverkar luftflödena aggregatets temperaturverkningsgrad?

**Svar:** \_\_\_\_\_

### Temperaturverkningsgrad som funktion av luftflöde



- G. När man pratar om energiåtervinning räknar man på hela energiinnehållet i luften, dvs både temperatur och fukt. Detta benämner vi som Entalpi (h). Då detta aggregat har en roterande värmeåtervinnare utan fuktöverförande egenskaper innebär det att endast sensibel värme överförs.

Uppgiften går ut på att med hjälp av **Mollierdiagram B.2.G** plocka fram Entalpi, temperatur och RF.

Läs av följande värden då  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}} = 350$  [l/s]:

Temperaturverkningsgrad= \_\_\_\_\_ %

$T_{\text{från}} =$  \_\_\_\_\_ [°C]       $RF_{\text{från}} =$  \_\_\_\_\_ %

$T_{\text{till}} =$  \_\_\_\_\_ [°C]       $RF_{\text{till}} =$  \_\_\_\_\_ %

$T_{\text{ute}} =$  \_\_\_\_\_ [°C]       $RF_{\text{ute}} =$  \_\_\_\_\_ %

Använd Mollierdiagram för att få fram RF i uteluften. Antag samma absoluta luftfuktighet i uteluften som i tilluften.

Hur stort blir energiinnehållet i tilluften för denna icke fuktöverförande värmeåtervinnare? **Svar:** \_\_\_\_\_ [kJ/kg]

Antag nu att värmeåtervinnaren också skulle kunna överföra/återvinna fukt. Vad blir energiinnehållet i tilluften för en sådan återvinnare? Antag att fuktverkningsgraden är densamma som temperaturverkningsgraden.

**Svar:** \_\_\_\_\_ [kJ/kg]

## Uppgift 3.

För att räkna ut SFP används följande formel:

$$SFP = (P_{\text{tilluft}} + P_{\text{frånluft}}) / q_{\text{max}} \text{ där}$$

$P_{\text{tilluft}}$  = tillförd el till tilluftsfläkt

$P_{\text{frånluft}}$  = tillförd el till frånluftsfläkt

$q_{\text{max}}$  = det största flödet i antingen till- eller frånluft

I uppgiften ska SFP beräknas för tre olika flöden, 100 l/s, 250 l/s samt 400 l/s.

I menyn till höger (svp åt vänster på skärmen) finns en symbol för *Luftflöde* längst upp till vänster. Här kan önskat luftflöde ställas in under *Driftnivå; Tilluft, lågfart* samt *Frånluft, lågfart*.

Dessa flöden ska vara lika stora för att anläggningen ska kunna anses balanserad, dvs  $V_{\text{till}} = V_{\text{från}}$

För att läsa av tillför eleffekt:

Klicka på *Energiövervakning*, under *Förbrukning och effekt*.

Läs av  $P_{\text{tilluft}}$  samt  $P_{\text{frånluft}}$

### A. Luftflöde $V=100$ [l/s]

$$P_{\text{tilluft},100} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{frånluft},100} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW]}$$

$$SFP_{100} = (\underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}) / 100 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

$$\text{Aggregatets angivna SFP-värde} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

### B. Luftflöde $V=250$ [l/s]

$$P_{\text{tilluft},250} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (kW)}$$

$$P_{\text{frånluft},250} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (kW)}$$

$$SFP_{250} = (\underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}) / 250 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

$$\text{Aggregatets angivna SFP-värde} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

### C. Luftflöde $V=400$ [l/s]

$$P_{\text{tilluft},400} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (kW)}$$

$$P_{\text{frånluft},400} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (kW)}$$

$$SFP_{400} = (\underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}) / 400 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

$$\text{Aggregatets angivna SFP-värde} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

Skiljer sig era teoretiska uträkningar med aggregatets visade värde?

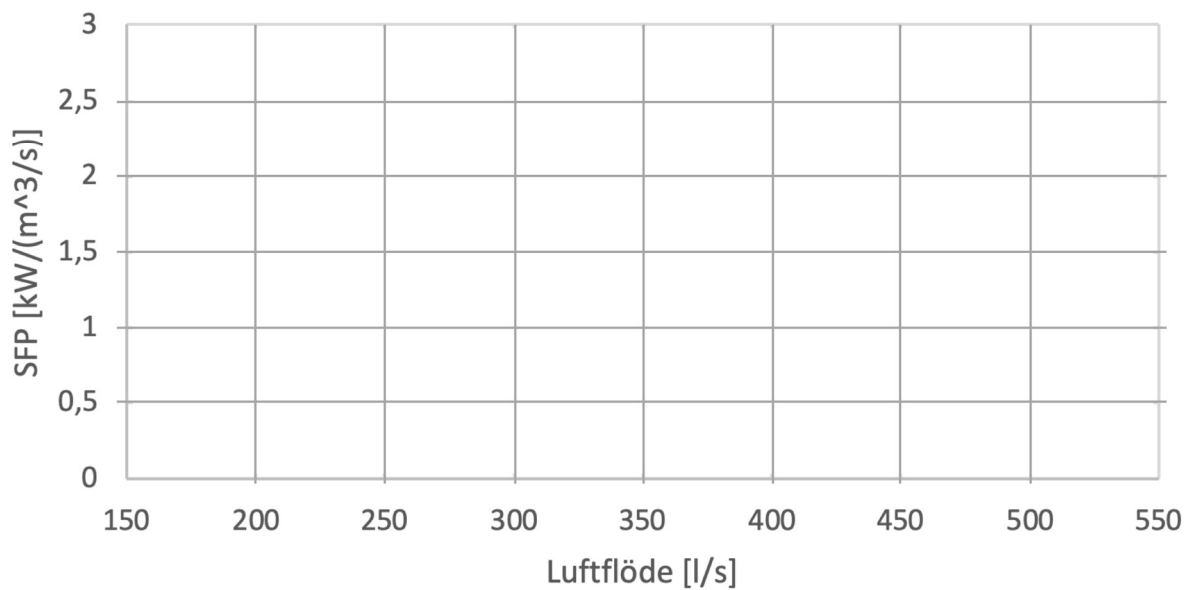
Om ja, vad beror det på?

**Svar:** \_\_\_\_\_



D. Plotta värdena från mätningarna i diagrammet nedan.

### SFP som funktion av luftflöde



E. Vid projektering av ventilationssystem anges ofta ett krav på SFP.

Antag att kravet för just detta system är  $SFP = 1$  [kW/(m<sup>3</sup>/s)].

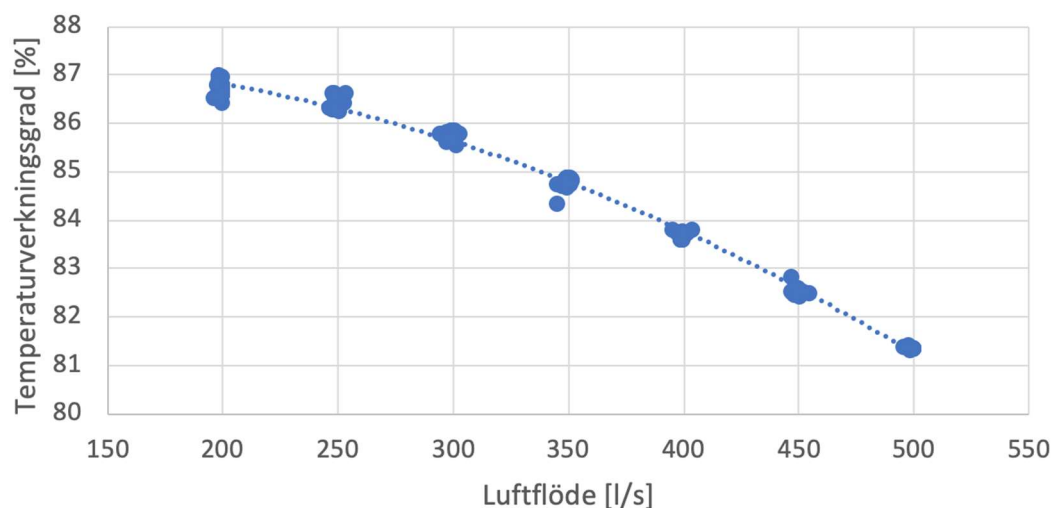
Vilket blir det största tillåtna flödet?

Svar: \_\_\_\_\_ [l/s]

Vilken temperaturverkningsgrad kan då förväntas?

Svar: \_\_\_\_\_ %

### Temperaturverkningsgrad som funktion av luftflöde



- F.** För att få en representativ bild av energiåtervinningen sett över ett helt år kan ett så kallat varaktighetsdiagram användas. Detta diagram är specifikt för orten och redovisar den varierande utetemperaturens varaktighet över året.

Beräkna hur mycket energi som återvinns samt hur stor kostnadsbesparingen blir jämfört med om denna energi inte skulle återvinnas.

Uppgiften löses med hjälp av bifogat **Varaktighetsdiagram B.3.F.**

Antag  $T_{\text{till}}=21$  [°C]

Tfrån avläses från aggregat

Energikostnad 1 [kr/kWh]

Verkningsgrad och luftflöde tas från **Uppg. 3.E**

**Svar:** \_\_\_\_\_ [kr]

- G.** I exempelvis en kontorsbyggnad önskas en tilluftstemperatur på omkring 18 °C, det vill säga något undertempererad tilluft för att skapa omblandande luftrörelser i lokalerna och öka upplevd komfort då internvärmestillskottet ofta är stort.

Hur mycket energi återvinns i detta fall samt hur stor blir kostnadsbesparingen?

Uppgiften löses med hjälp av bifogat **Varaktighetsdiagram B.3.G.**

Antag  $T_{\text{till}}=18$  [°C]

Tfrån avläses från aggregat

Energikostnad 1 [kr/kWh]

Verkningsgrad och luftflöde tas från **Uppg. 3.E**

**Svar:** \_\_\_\_\_ [kr]

## Uppgift 4.

- A.** I denna uppgift förbehandlas uteluften i den intilliggande riggen som består av ett tilluftsaggregat från Swegon (Nr.13), ett efterföljande kylbatteri (Nr.14) och ett värmebatteri (Nr.15). Denna rigg är uppbyggd på ett sådant sätt att luftflödet kan återföras, vilket bidrar till att ett stabilt lufttillstånd kan uppnås. Den förbehandlade luften tas med hjälp av den böjbara flexslangen (via anslutning B) vidare till aggregatet där ni laborerar.

I denna uppgift är tanken att simulera en mycket varm sommardag, då utetemperaturen är högre än inomhustemperaturen. I ett sådant fall kan en roterande värmeåtervinnare bidra till ett svalare inneklimat och spara energi genom att minska behovet av komfortkyla.

Beskriv vad som sker i den roterande värmeåtervinnaren då uteluftens temperatur är högre än frånluftens. I vilken riktning transporteras värmeenergin?

Svar: \_\_\_\_\_

- B.** När systemet varit igång i några minuter och mätvärdena har stabiliserats kan en temperaturverkningsgrad beräknas för värmeåtervinnaren. Vad blir denna?

Svar: \_\_\_\_\_ %

- C.** Hur stor effekt överförs i den roterande värmeåtervinnaren och i vilken riktning transporteras värmeenergin?

Svar: \_\_\_\_\_

- D.** Antag att denna kylande effekt istället skulle erhållas med hjälp av ett kylbatteri, vilket försörjs av en kylanläggning med en köldfaktor 4, även kallat COP-värde (Coefficient Of Performance). Det vill säga i fallet kylanläggning är förhållandet mellan bortförd värmeenergi och tillförd elenergi lika med 4.

$$\text{COP} = Q_{\text{kyla}} / Q_{\text{el}}$$

Beräkna hur mycket eleffekt som behövs för att ett sådant system ska uppnå samma kyleffekt som den roterande värmeåtervinnaren i deluppgift C ovan. Bortse från eventuella distributionsförluster.

- E.** Antag att systemet i framtiden ska utrustas med en fuktare i frånluftskanalen för att tillämpa så kallad *indirekt evaporativ kylning*. Denna teknik innebär att frånluften fuktas innan aggregatet. På så vis sjunker frånluftens temperatur samtidigt som luftfuktigheten ökar (luftens entalpi förblir densamma). Detta innebär att temperaturdifferensen över värmeåtervinnaren ökar och tilluften kan alltså få en lägre temperatur än fallet i deluppgift C.

Antag samma lufttillstånd som i deluppgift C, med den enda skillnaden att frånluften hypotetiskt fuktas längs med våt-temperatur-linjen till RF=80%.

Vad blir den nya tilluftstemperaturen?

Uppgiften löses med hjälp av **Mollierdiagram B.4.E**.

**Svar:** \_\_\_\_\_ [°C]

## Uppgift 5.

I ett aggregat med en roterande värmeåtervinnare finns en risk för att förorenad frånluft ska läcka över rotorn till tilluften och på så vis återföras in i byggnaden. För att minimera risken för detta oönskade läckage har Swegon tre tekniska lösningar.

Kontrollera att aggregatet är avstängt och öppna sedan luckorna för att identifiera dessa lösningar och beskriv hur de fungerar:

- Renblåsningszon: \_\_\_\_\_
- Tätningborst vid skiljevägg: \_\_\_\_\_
- Glidtätning mot rotorns utsida: \_\_\_\_\_

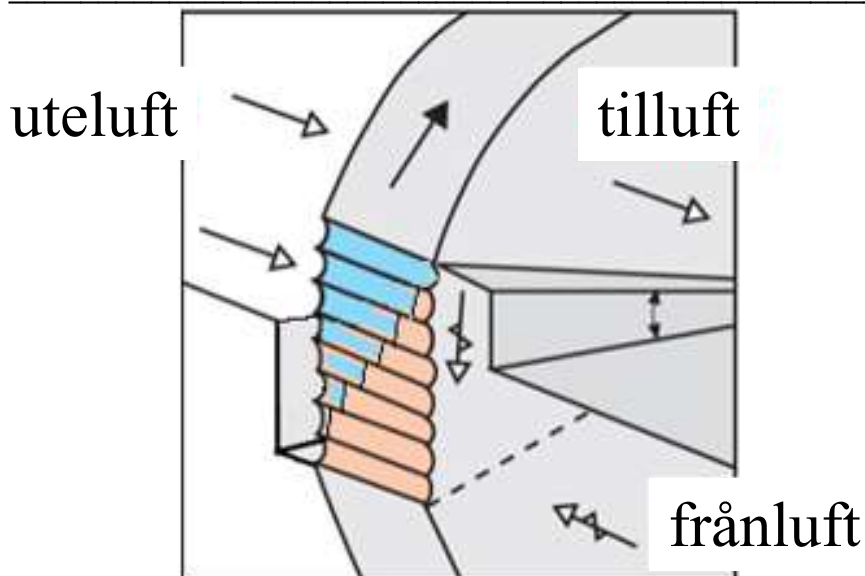
Dessa tekniska lösningar och en korrekt utförd injustering av tryckförhållandena i aggregatet kan mer eller mindre eliminera det oönskade läckaget över rotorn. På vilken sida i aggregatet bör undertrycket vara som störst - frånluftssidan eller tilluftssidan?

Svar: \_\_\_\_\_

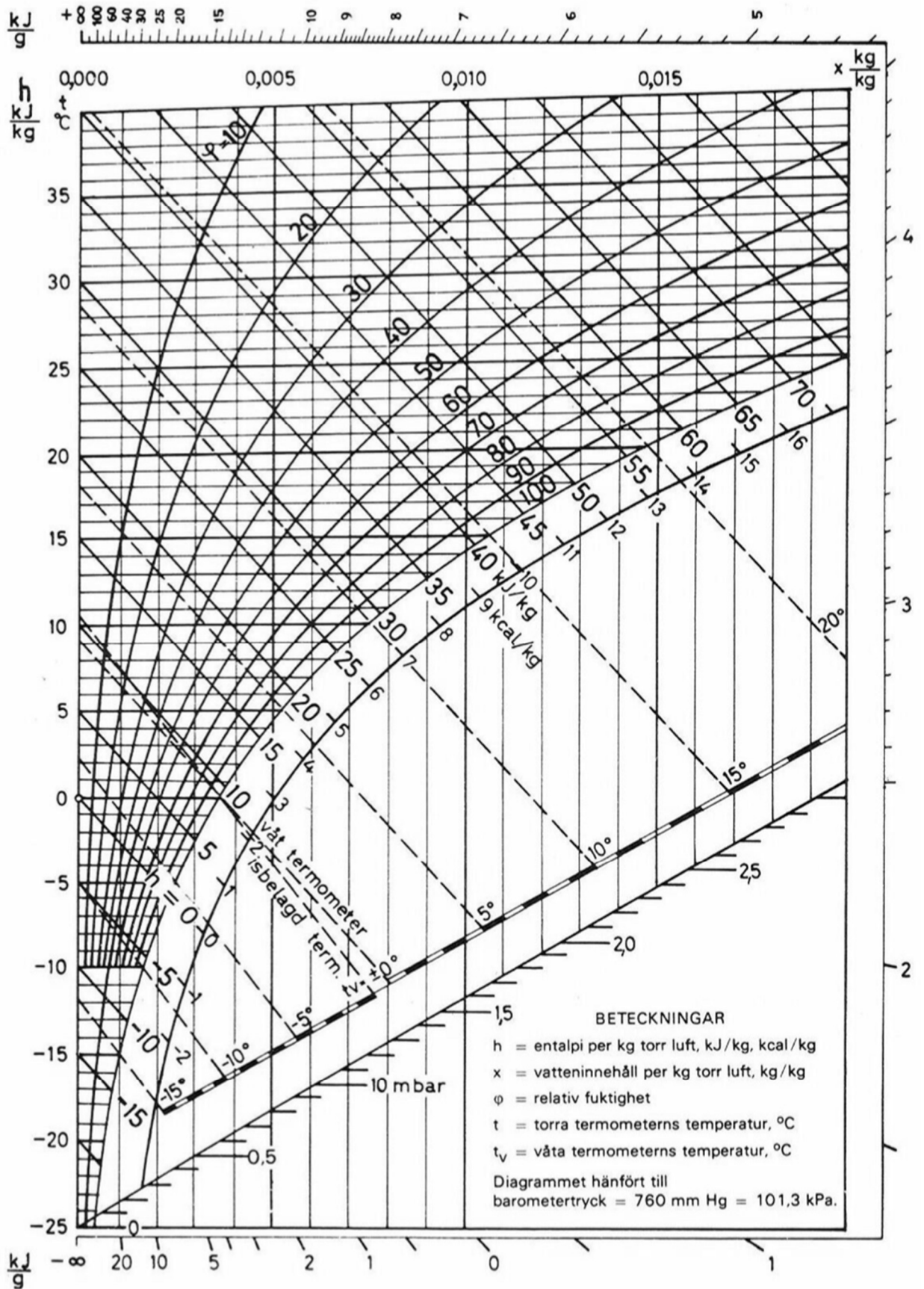
Tryckförhållandena justeras vid frånluftssidan, innan filtret, med hjälp av injusteringsplåtar.

Denna injustering görs vid ett så kallat normalflöde (i detta fall 300 l/s). Hur påverkas tryckdifferensen vid ett något lägre respektive högre flöde än normalflödet?

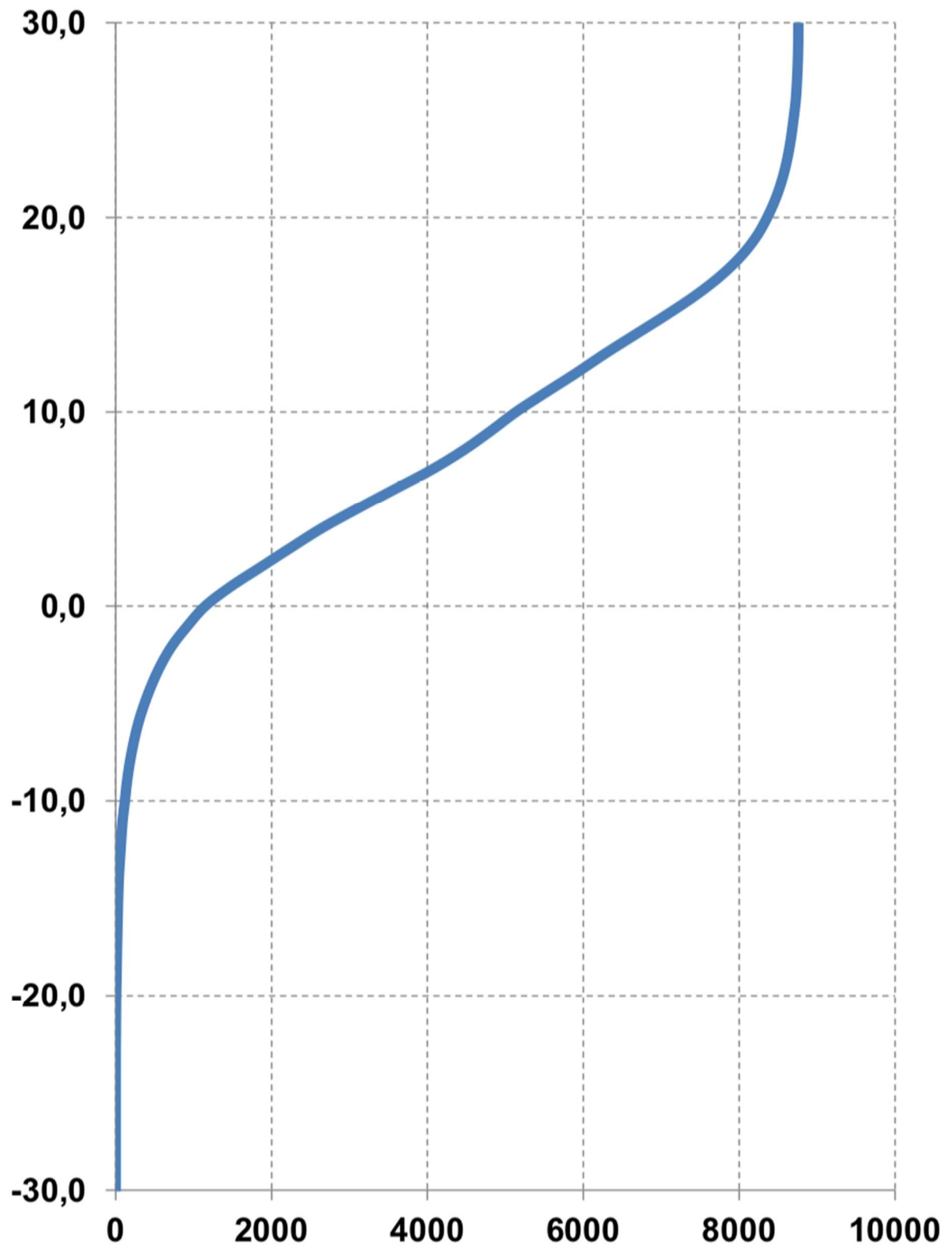
Svar: \_\_\_\_\_



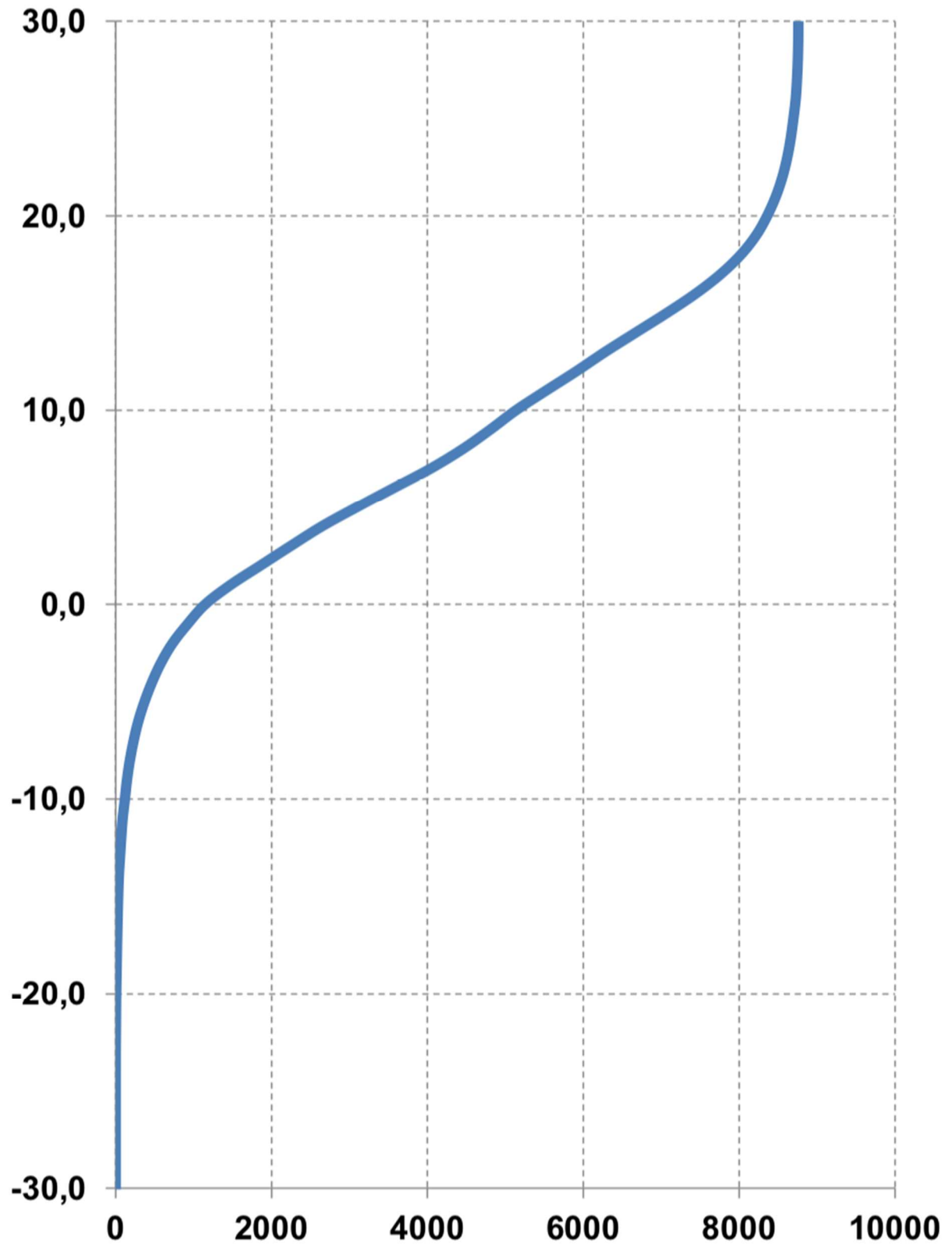
# Mollierdiagram B.2.G



### Varaktighetsdiagram B.3.F



### Varaktighetsdiagram B.3.G





# Mollierdiagram B.4.E

