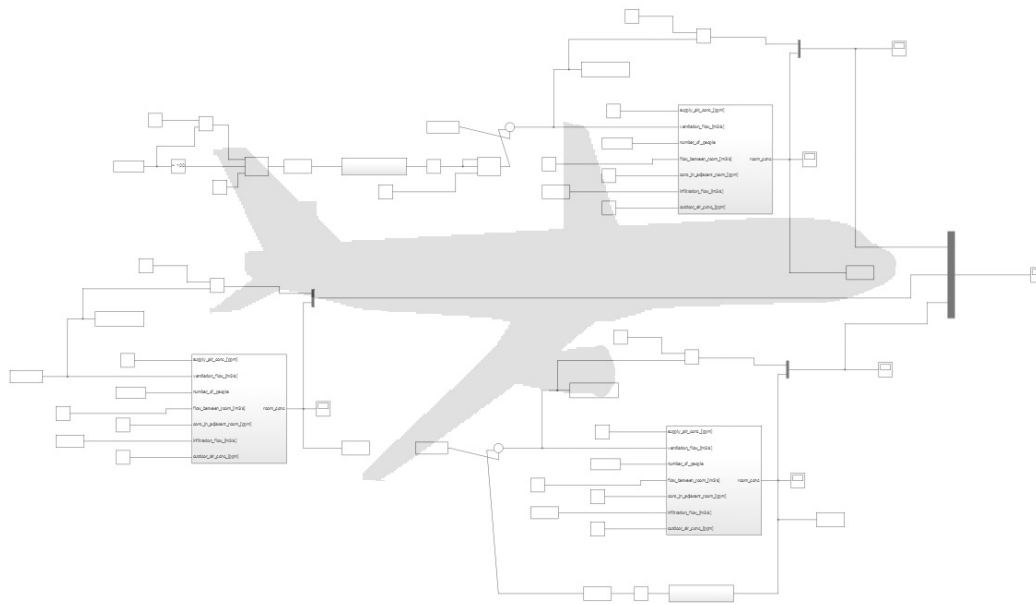


CHALMERS



Feedforwardreglering av ventilation på Kiruna flygplats

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2014
Examensarbete E 2014:03

EXAMENSARBETE E 2014:03

Feedforwardreglering av ventilation på Kiruna flygplats

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2014

Feedforwardreglering av ventilation på Kiruna flygplats

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN

© NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN 2014

Examensarbete/Institutionen för energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola E 2014:03

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

Omslag:
Simulinkträdet och ett flygplan.

Institutionen för Energi och Miljö
Göteborg 2014

Feedforwardreglering av ventilation på Kiruna flygplats

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport utreder huruvida feedforwardreglering av ventilationssystemet på Kiruna flygplats leder till lägre energianvändning. Rapporten jämför ett feedforwardreglerat system simulerat i Simulink med ett feedbacksystem som motsvarar det existerande systemet på Kiruna flygplats. Jämförelsen görs på fläktens energianvändning och rapporten använder sedan energianvändning för värme och kyla för att avgöra huruvida systemet är ekonomiskt gångbart. Systemet är tänkt att kunna användas i alla miljöer med kända störningar i avseende till tid och storlek som till exempel flygplatser, biosalonger, teatrar och så vidare.

Rapporten ger en kort teoretisk bakgrund till hur ventilationskrav, regler teknik, feedforwardreglering och feedbackreglering fungerar för att sedan gå vidare till att redogöra för de förutsättningar som gäller för Kiruna flygplats med avseende på klimatskalets täthet, rummens volymer och utformning och drifttiden för ventilationssystemet. Med hjälp av simuleringar i Simulink görs en jämförelse av energianvändning då de båda systemen är optimerade utan att för den sakens skull kompromissa med kvalitén på inomhusmiljön. Detta görs genom att mäta koldioxidhalterna i avgångshallarna och använda max 1000 ppm koldioxid som riktvärde för god inomhusmiljö. De tre fallen konstant, feedback och feedforward simuleras i Simulink, sedan justeras luftflöde per person manuellt tills koldioxidhalter för god inomhusmiljö uppnås. Efter detta jämförs driftkurvorna på de olika systemen för att på så sätt avgöra hur mycket energi som kan beräknas sparas i procent. Slutsatsen blir att feedforwardsystemets fläktar använder ungefär sjuttio procent av energin som används till feedback-systemets fläktar.

Sedan görs en LCC-analys av feedforwardsystemet för att genom detta avgöra hur stor investeringskostnad feedforwardsystemet kan tillåtas ha för att fortfarande vara ett ekonomiskt möjligt alternativ att använda på Kiruna flygplats. Analysen konstaterar att en investeringskostnad på 90 000 SEK för feedforwardsystemet är möjligt och ändå få en avbetalningstid på sex år.

Nyckelord: Feedforward, feedback, ventilation, Simulink, PAX, flygplats, LCC.

Feedforward control of ventilation at the Kiruna airport

Diploma Thesis in the Engineering Program
Building and Civil Engineering

NICLAS LINDNER, JESPER NORMÉN
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of energy and environment
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report investigates whether feedforward control of the ventilation system at Kiruna airport leads to lower energy consumption. The report compares a feedforward controlled system simulated in Simulink with the feedback system that is the installed system at the airport today. The comparison is made on the fan energy use and the savings are calculated on expected savings on the energy use for heating and cooling. The system is intended for use in any environment with known disorders in relation to time and size such as airports, cinemas, theaters and so on.

The report provides a brief theoretical background on how ventilation requirements, automatic control, feedforward control and feedback control works and then go on to describe the conditions that apply to Kiruna airport with respect to the building envelope, air tightness, room volume, design and operating time of the ventilation system.

Through simulations made in Matlab Simulink, the energy consumption on both systems is compared. Both systems are optimized regarding the quality of the indoor environment. This is done by measuring the carbon dioxide levels in the departure halls and use 1000 ppm of carbon dioxide as a benchmark for good indoor environment. The three cases simulated; constant, feedback and feedforward are simulated in Simulink and then adjusted until carbon dioxide levels for good indoor climate is achieved. After this the result is compared between the different systems so as to determine how much energy can be saved. In conclusion, the fans of the feedforward system use about seventy percent of the energy used by the fans of the feedback system.

Then an LCC analysis of the feedforward system is done so that through this it can be determined how much of an investment cost the feedforward system can be allowed to have to still be an economically viable alternative to use at the airport. The analysis finds that an investment cost of 90 000 SEK for the feedforward system is possible and still get a payback of six years.

Key words: Feedforward, feedback, HVAC, Simulink, PAX, airport, LCC.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAM	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
BETECKNINGAR	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	2
1.2 Avgränsning	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Bakgrund	3
1.5 Metod	3
2 TERMISK KOMFORT	4
2.1 Krav på inomhustemperatur	4
2.2 Krav på ljudnivåer inomhus	4
2.3 Krav på luftflöden inomhus	4
2.4 Krav på luftkvalité inomhus	4
2.5 OVK	5
2.6 PMV/PPD	5
2.7 Krav på ventilation	6
2.8 Luftläckage genom klimatskal	6
2.9 Behovsstyrd ventilation, VAV	6
2.10 Konstanta flöden	6
2.11 Prognosstyrd ventilation	7
3 REGLERING	8
3.1 Reglerteknik	8
3.2 D-reglering	8
3.3 Feedforward	9
3.4 Feedback och feedforward	9
4 PASSAGERARFLÖDEN PÅ FLYGPLATSER	10
4.1 Flödesberäkning	10
CHALMERS , <i>Energi och miljö</i> , Examensarbete E 2014:03	III

4.2	PAX-data	10
4.3	Dimensionering av ventilation på flygplatser	10
4.4	Komponenter som krävs för feedforward-reglering	10
5	SIMULERING OCH MÄTNING	11
5.1	Nuvarande system	11
5.2	Terminaler, lokal och rum	11
5.3	Luftläckage Kiruna flygplats	11
5.4	Förutsättningar för simulering	11
6	RESULTAT FRÅN SIMULERING	13
6.1	Rak simulering med konstant flöde	14
6.2	Feedback – Nuvarande system	15
6.3	Feedforward – Föreslaget	16
6.4	Simulink	17
7	ENERGIBERÄKNING	18
7.1	Energianvändning för uppvärmning av tilluft	18
7.2	Fläktens effekt	19
8	LCC	20
8.1	Förutsättningar	21
8.2	Metod	21
8.3	Genomförande av LCC-analys	22
9	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	23
9.1	Feedforward	23
9.2	Diskussion om den undersökta platsen	24
9.3	Osäkerheter i beräkningar	24
9.4	Rekommendationer och fördjupningar	25
10	REFERENSER	26

BILAGOR

Bilaga A: LCC-analys feedback-system

Bilaga B: LCC-analys feedforward-system

Bilaga C: Driftkort TA4/FF4

Bilaga D: Calectro A-sense

Bilaga E: Passagerarflödet Kiruna flygplats 2014-03-11

Bilaga F: Simulinkmodell

Bilaga G: Varaktighetsdiagram Kiruna

Förord

Med detta examensarbete som omfattar 15 högskolepoäng på Chalmers byggingenjörsprogram vill vi belysa en teknik som kan ha betydelse för framtida driftoptimeringar och att även ge en möjlighet till ökad förståelse för hur tekniken fungerar samt visa vilka möjligheter för besparingar som finns att göra.

Ett stort tack till alla de som varit behjälpliga med att svara på frågor, gett oss vägledning och ställt upp med sin tid. I synnerhet Christer Heikki på Swedavia i Kiruna, Mikael Ljunghäll på Sweco, Anders Trüschel och Mattias Gruber på Chalmers.

Göteborg april 2014

Niclas Lindner

Jesper Normén

Beteckningar

A_{temp}:	summan av arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymnen, avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida.
ARN:	Arlanda airport
DUC:	Dataundercentral är ett elektroniskt styrsystem för fastighetsautomation. Systemet liknar industrins PLC (industriell motsvarighet till DUC), men skillnaderna blir mindre och mindre. Programmets cykeltid är vanligtvis även längre då det inte finns behov av extremt snabba händelseförlopp i en fastighet. I stället läggs processorkraft på tyngre matematiska operationer så som PID-regulatorer, beräkning av kurvor, och tidstyrningar.
FT:	Ventilationssystem med fläktdriven frånluft och tilluft.
FTX:	FT-ventilation med ett värmeåtervinningssystem kopplat till aggregatet. Detta leder till att en del av värmen i frånluften kan tillföras inkommande luft vilket leder till en lägre energiförbrukning.
HTA:	Heathrow airport.
l/s:	Liter per sekund.
LLA:	Luleå airport.
LCC:	Livscykelkostnadsanalys; är resultatet av en ekonomisk analys där kostnader och intäkter för ett system eller en produkt sammanställs över dess livslängd.
OVK:	Obligatorisk Ventilations Kontroll, en obligatorisk funktionskontroll av en byggnads ventilationssystem enligt plan- och byggförordningen.
PAX:	Antalet passagerare på en flygplats.
PID:	Proportionerlig, Integrerande och Deriverande del av en regulator.
PMV:	Predicted Mean Vote, förutspådd genomsnittlig reaktion av en större grupp människor
PPD:	Predicted Percentage Dissatisfied, procent missnöjda med inomhusklimatet.
ppm:	(parts per million) miljondelar.
UA:	Umeå airport

1 Inledning

För att möta framtidens behov av ett hållbart samhälle krävs kunskap och utveckling både i hur vi utnyttjar jordens resurser och hur vi använder dessa på bästa sätt för att skapa ett mer långsiktigt samhälle. I Sverige och på många andra platser på jorden görs mål kring hur samhället på bästa sätt ska effektivisera och utveckla de olika energikrävande system som används. På regeringens uppdrag har en färdplan tagits fram av naturvårdsverket för ett Sverige utan nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 (Naturvårdsverket 2014). Parallellt med detta har riksdagen tagit ett beslut om att energianvändningen i bostäder och lokaler skall minska till år 2020 jämfört med 1995-års nivå, några mätbara nivåer på minskningen saknas dock (Energimyndigheten 2013). Minskat energianvändande i lokaler och byggnader innebär att äldre och mer energikrävande hus antingen rivs eller energieffektiviseras för att kunna möta de krav som riksdagen ställt samt att boverkets krav på nyproduktioner måste skärpas steg för steg för att göra möjligt att få en mer energieffektiv bebyggelse.

Utvecklingen av produkter inom installationsteknik har gjort stora framsteg under de senaste åren och för att nämna ett exempel så har verkningsgraden på värmeväxlare i ventilationssystem ökat och kan nu ligga på närmre nittio procents värmeåtervinningsgrad för de absoluta toppmodellerna. Nästa steg i utvecklingen av ventilationssystem ligger i att effektivisera den reglerteknik som styr systemen. Styr och reglerteknik har varit en del av industrialiseringen allt sedan James Watt uppfann den enkla men geniala centrifugalregulatorn, för att reglera varvtalet på sin ångmaskin. Trots detta är det först nyligen som reglersystemens effektivisering har blivit en stor fråga kring effektiviseringar och energibesparingar av ventilationssystem. Den potentiella energibesparingen ligger i att förfina verkningsgraden och utnyttjandet av ventilationen utan att skapa instabila system. Rapportens tyngdpunkt avser att utreda möjligheten att driftoptimera ventilationen på en flygplats och koncentrera ventilationsflödet inför en förväntad nedsmutsning av inomhusluften och på så sätt kan energi sparas genom att ventilationen körs enbart när den behövs och på så sätt läggs lägre än vad ett traditionellt system skulle tillåta.

Kapitel två syftar till att ge en läsare en introduktion till vilka förutsättningar och regler som gäller för projektering av ventilationssystem och god inomhusmiljö genom att förklara några grundläggande installationstekniska begrepp. Kapitel tre innehåller en grundläggande introduktion till reglerteknik och förklarar också innebörden av feedforwardreglering och hur det skiljer sig från klassisk feedback-reglering. Kapitel fyra förklarar hur passagerarflöden beräknas och mäts på flygplatser och vilka komponenter som krävs för att implementera ett feedforwardsystem för ventilationen på en flygplats. I kapitel fem förklaras hur systemet på Kiruna flygplats fungerar idag samt förutsättningarna för den simulering med följande mätningar som görs. I kapitel sex redogör rapporten för resultaten av de olika simuleringarna och följs av en diskussion om resultaten i kapitel sju, rapporten ger även några förslag på fortsatta undersökningar kring ämnet feedforwardreglering.

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka huruvida feedforward är ett lämpligt komplement till ett behovsstyrt ventilationssystem på en flygplats med avseende på energibesparing och god komfort.

Syftet är också att undersöka om det är möjligt att implementera systemet på samtliga Swedavias flygplatser med avseende på deras nuvarande system och om det leder till en lägre energiförbrukning jämfört med ett konventionellt system. Vidare kommer även den ekonomiska genomförbarheten av systemet att undersökas.

1.2 Avgränsningar

Rapporten syftar enbart till att undersöka ventilationen och driften av ventilationen. Vid jämförelse mellan det nuvarande systemet och det föreslagna systemet jämförs enbart energi i kWh och bortser från dess ursprung och kostnad.

1.3 Frågeställning

Rapporten avser att besvara följande frågeställning;

- Är det tekniskt möjligt att styra ventilationen på en flygplats med hjälp av PAX-data?
- Kan feedforward styrning med hjälp av PAX-data vara ett sätt att minska energianvändningen på flygplatser med bibehållen termisk komfort?
- Är det lämpligt med avseende på pay-off tid?

1.4 Bakgrund

Det är redan känt att ett instabilt system kommer att ha en högre energianvändning än ett stabilt system, jämför med eco-driving där du framför ditt fordon med jämn fart och mjuka accelerationer istället för full gas och hastiga inbromsningar och på så sätt minskar din totala bränsleförbrukning, men det är också sant att ett system som ligger närmre intill sitt börvärde är det mest energieffektiva då systemet inte förbrukar mer än nödvändigt.

I traditionell reglerteknik finns svårigheter med att få ett stabilt system därför att en mindre tolerans mot avvikelser gör att systemet ständigt kompenserar för småfel. Traditionellt används feedbacksystem för att styra och reglera ett installationstekniskt system i en byggnad. I processer som behöver vara mycket exakta, till exempel inom tillverkningsindustrin, används dessutom feedforward reglering. Inom byggnadssektorn är denna typ av reglering fortfarande ovanlig men det finns exempel på feedforwardsystem där inomhusklimatet regleras med avseende på väderprognoser.

En flygplats har via passagerarregistret god kännedom om hur personflödet sker genom terminalerna. Det ger möjligheten att förutse ventilationsbehovet i olika delar av byggnaden baserat på det faktiska behovet, istället för det dimensionerade. Dessutom kan ett feedforwardsystem innebära mindre dödtid då reglering påbörjas i ett tidigare skede. Detta innebär mindre fluktuationer i ärvärdet, vilket teoretiskt sett leder till lägre energiförbrukning.

1.5 Metod

Arbetet genomförs med hjälp av litteraturstudier och intervjuer med personal på Swedavia och Sweco. En simulering av det befintliga och vårt förslag till ett feedforward system görs i Mathworks Simulink, på Chalmers med Mattias Gruber som handledare.

2 Termisk komfort

Nedan följer en genomgång av några krav och riktlinjer kring hur en god inomhusmiljö skapas.

2.1 Krav på inomhustemperatur

Rekommenderade värden på den operativa temperaturen, det vill säga medelvärdet på lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor, i lokaler där människor vistas i mer än tillfälligt är 20 - 23 °C med riktvärde att inte vara under 18 °C och skillnaden i temperatur mellan 0,1 och 1,1 m över golv inte skall överstiga 3 °C. Yttertemperaturen på golvet är rekommenderat att vara mellan 20 och 26 °C, med riktvärde att inte vara under 16 °C (Folkhälsomyndigheten 2014:17).

2.2 Krav på ljudnivåer inomhus

För att motverka och förebygga olägenheter för människors hälsa skapade av buller och störande ljud skall verksamhetsutövaren fortlöpande planera och kontrollera verksamheten så att ljudnivåerna hålls under givna riktvärden. Riktvärdet för lokaler där både barn och vuxna har tillträde är maximalt 110 dB och ekvivalent ljud 97 dB, där ekvivalent ljud motsvarar den genomsnittliga ljudnivån under en tidsperiod (Folkhälsomyndigheten 2014:15). De allmänna råden och riktvärdena kring bostäder och lokaler för undervisning, vård eller annat omhändertagande är maximalt 45 dB och ekvivalent ljud 30 dB. (Folkhälsomyndigheten 2014:13) Ventilationssystem som är fläktstyrda kan ofta ge upphov till buller och bör väljas med omsorg och på bästa sätt placeras för att minska störande ljud och buller (Arbetsmiljöverket 2009).

2.3 Krav på luftflöden inomhus

Rekommenderat värde på luftens medelhastighet bör understiga 0.15 m/s men om inomhustemperaturen är över 24 grader accepteras högre lufthastigheter. (Folkhälsomyndigheten 2014:17) Luftomsättningen i bostäder skall helst inte understiga 0,5 rumsvolymer per timme. Luftflödet bör inte heller understiga 0,35 l/s per m² eller 4 l/s per person. I skolor och lokaler är motsvarande värde 7 l/s per person vid stillasittande med tillägget på 0,35 l/s per m² för att ta hand om de övriga emissionerna (Folkhälsomyndigheten 2014:18).

2.4 Krav på luftkvalité inomhus

Vid normal användning rekommenderas det att koldioxidhalten inte överstiger 1000 ppm, om så sker anses inte ventilationen vara fullt tillfredställande. Under vintern bör inte skillnaden i absolut luftfuktighet mellan inne och ute vara regelmässigt större än 3 g/m³ (Folkhälsomyndigheten 2014:18). Ventilationen anses inte heller tillfredställande om besvärande lukter eller matos sprids från annan plats i lokalen och om luften går från rum med lägre krav som kök och toaletter till rum med högre krav. En mer grundlig undersökning bör också ske om det befaras finnas andra brister i inomhusmiljön som till exempel radon, hälsofarliga kemikalier, mikrobiell påväxt och omfattande kondensbildning på fönstrets insida (Folkhälsomyndigheten 2014:18).

Tillräcklig mängd av uteluft ska tillföras lokalerna och intagen av uteluften ska ske på lämplig placering i relation till uteluftens föroreningar samt avluftens placering. Tilluften skall också vara så fri det går från föroreningar och tillföras lokalen utan att skapa besvärande drag. Luftutbyteseffektiviteten bör vara minst 40 % därför är placeringen av tilluftsdon och frånluftsdon av stor betydelse för att hindra kortslutning i ventilationen (Arbetsmiljöverket 2009). Koldioxidhalten i ett rum är en bra indikator på luftkvalitet som inte bara ger en rekommenderad nivå på luftflödet i rummet utan också ser till att rummet inte är överventilerat, det vill säga har ett onödigt högt ventilationsflöde, för att vara energieffektivt bör systemet även ha en undre tolererad gräns på koncentrationen av koldioxid.

2.5 OVK

God ventilation är en av de viktigaste åtgärderna för att komma åt problem med dåligt inomhusklimat och luftföroreningar i form av hälsofarliga emissioner. Bristande skötsel och dåligt underhåll av ventilationssystem kan leda till ökad energianvändning och ett sämre inomhusklimat med hälsoproblem som följd. Därför infördes regler kring obligatorisk ventilationskontroll 1991 där byggnadens ägare blev skyldig att genomföra en regelbunden funktionskontroll som skall utföras av en sakkunnig besiktningsman, protokollföras och sedan skall intyg sättas upp på synlig plats i fastigheten. Finns det ett FT eller ett FTX-system så skall kontrollen utföras vart tredje år. För småhus med FX- och FTX-ventilation gäller det enbart en installationsbesiktning innan systemet tas i bruk (Boverket 2012).

2.6 PMV/PPD

För att bedöma upplevelsen av den termiska komforten används indexet PMV och PPD där en grupp människor med given klädsel och aktivitet får ange hur de upplever klimatet på en skala mellan -3 och +3, se tabell 1 PMV. Man kan därefter beräkna det förväntade antalet missnöjda personer med PPD-index. Med hjälp av PPD-index bestäms ett PPD-värde för lokalen, detta PPD-värde bör understiga 10 procent missnöjda (Arbetsmiljöverket 2009).

Tabell 1 Predicted Mean Vote

+3	Mycket varmt
+2	Varmt
+1	Lite varmt
0	Neutral
-1	Lite kallt
-2	Kallt
-3	Mycket kallt

2.7 Krav på ventilation

Arbetsmiljöverkets föreskrifter anger de allmänna råden att lokaler där personer vistas mer än tillfälligt bör ha ett flöde på 0,35 l/s och m² golvyta (A-temp) och 7 liter per person för att ta hand om emissioner, i kontorsbyggnader kan flödet vara upp till 15 l/s och person. Koldioxidhalten rekommenderas vara under 1000 ppm i lokaler där människor vistas mer än tillfälligt, utomhusluften ligger normalt strax under 400 ppm. För att ventilationen ska uppfattas som dragfri bör lufthastigheterna vara lägre än 0,2 meter per sekund. Med avseende på buller bör exponeringen reduceras till lägsta praktiskt möjliga nivå genom planering, disponering och isolering, så att så få som möjlig utsätts för buller (Arbetsmiljöverket 2009).

2.8 Luftläckage genom klimatskal

Det ofrivilliga luftläckaget i ett hus som anses ha ett för dagen normalt lufttätt klimatskal kan vara i storleksordningen 10 % av innervolymen i omsättning per timma vid en tryckskillnad på 50 Pa och är fastigheten ombyggd och tillbyggd i olika etapper kan detta värde förväntas vara betydligt högre om inte bygget skett med noggrann anslutning av tätskikten mot det befintliga (Petersson 2009). Boverkets byggregler anger maximalt 0,8 l/m²s som gränsvärde för när en byggnad kan anses tät.

2.9 Behovsstyrd ventilation, VAV

Med behovsstyrd ventilation, också kallat VAV (variabelt flöde), avses ett system som styrs efter det faktiska behovet genom ett variabelt styrt ventilationssystem. För att ha möjlighet att reglera ventilationsflödet efter det faktiska behovet krävs sensorer på plats i rummet eller i frånluftskanalen. Den vanligaste mätningen som görs är att koldioxidkoncentration och temperatur, koldioxidkoncentrationen mäts då detta är en bra indikator på luftkvalité. För att få tillförlitliga mätningar krävs god omblandning av luften så att den mätning som görs i rummet motsvarar den faktiska kvalitén på luften. Det är dessutom viktigt att ingen kortslutning sker, det vill säga att tilluftsdon och frånluftsdon är placerade för nära varandra. För att försäkra sig om att få bästa tänkbara mätvärden skall givare placeras i tillufts- och frånluftskanalerna samt i rummet för att på så sätt se om kortslutning sker och hur god omblandningen av luften i rummet är.

2.10 Konstanta flöden

Konstant flöde (CAV) innebär oftast att ventilation körs i ett on/off-läge. Ett fall är det dimensionerande flödet och ett annat blir till exempel nattdrift. Detta system är enkelt att dimensionera och styra då man enbart ser till maxbelastningen och utgår ifrån denna. CAV är ofta dåligt ur energisynpunkt eftersom de ventilationsflöden som körs oftast är onödigt höga vid låg närvaro och otillräckliga när det är hög närvaro då flödet sällan är inställt efter den högsta belastningen och rummet dimensionerat för en alltför låg belastning.

2.11 Prognosstyrd ventilation

Vid prognosstyrd ventilation regleras systemet utifrån en väderprognos som köps in från t.ex. SMHI, systemet kan då i förväg minska eller öka ventilation, värme eller kyla beroende på behov för att få ett jämnare inomhusklimat vid övergången från en kall natt till en solig dag (Fastighetsägarna 2014). Om regleringen kan påbörjas redan innan störningen har skett kan felsignalen minskas och där igenom kan dödtiden och mycket av trögheten undvikas i systemet. Detta används oftast som ett komplement till behovsstyrning då feedback kontrollen fortfarande måste göras för att kontrollera luftkvaliten i rummet.

3 Reglering

I detta kapitel kommer teorin bakom reglerteknik förklaras grundläggande, det kommer även att ges en kort förklaring av hur feedforward- och feedbackreglering fungerar.

3.1 Reglerteknik

Inom reglerteknik finns flera olika sorters regulatorer med olika noggrannheter och hastigheter. Normalt består regulatorn av tre delar; en P-del (den proportionerliga delen), en I-del (den integrerande delen) och en D-del (den deriverande delen). I ventilationsanläggningar är kombinationen PI vanligast förekommande. I exempelvis termostaten på en radiator förekommer enbart P-reglering.

PI-reglering består av två justerbara parametrar, en P-del och en I-del. P-regulatorn utgör en förstärkning baserad på en förinställd konstant, ett K-värde. Den förändringen som P-delen utgör är omedelbar men ett system som använder enbart P-reglering saknar noggrannhet på grund av statiska reglerfel och kombineras därför med en integrerande del. Den integrerande delen ger en ständigt ökande reglersignal så länge som det råder differens mellan är-värde och bör-värde.

Ekvationen som bestämmer storleken på styrsignalen $u(t)$ bestäms av

$$u(t) = K(r(t) - y(t)) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (r(t) - y(t)) dt$$

där uttrycket $r(t)-y(t)$ är differensen mellan referenssignalen (börvärde) och reglerande systemets utsignal (ärvärdet). Parametrarna K och T_i , även kallade regulatorparametrar, väljs på ett sådant sätt så att regulatorn får önskat beteende.

En proportionell förstärkning, alltså en ökning av K -värdet, ger ökad snabbhet, ökad styrsignalaktivitet, bättre kompensering av processtörningar och minskade stabilitetsmarginaler. Att minska T_i leder till bättre kompensering av lågfrekventa processtörningar, eliminering av statiska reglerfel orsakade av den proportionella förstärkningen och minskade stabilitetsmarginaler (Reginproducts 2014).

Det finns huvudsakligen två metoder för att ställa in lämpliga värden på regulatorparametrarna K och T_i , stegsvarsmetoden och självsvängningsmetoden. Då parametrarna beror på utformningen av systemet så måste intrimningen av reglersystemet ske efter det att systemet har byggts eller ändrats.

3.2 D-reglering

Som tillägg till PI-reglering kan den deriverande reglering, D-delen, användas för att öka hastigheten i reglersystem. Den deriverande delen (T_d), fungerar så att en ökning av T_d leder till ökad styrsignalaktivitet och sämre stabilitetsmarginaler medan ett litet T_d har bättre stabilitet men en svagare styrsignalaktivitet.

3.3 Feedforward

Med framkoppling menas att reglera genom ett färdigt modulerat förlopp, till exempel väderdata eller antal biobesökare i en biosalong. Genom att påbörja regleringen tidigare kan dödtiden i systemet minimeras, Anders Trüschel säger att detta leder till snabbare systemaktivitet och att det kan liknas vid en deriverande reglering med kända storheter. Då reglersystemet reagerar snabbare blir även felsignalen mindre eftersom störningen inte hinner växa till sig i styrka så som den skulle ha gjort vid konventionell reglering. (Smuts 2011). Systemet behöver fortfarande arbeta tillsammans med ett feedbacksystem eftersom givare behövs för att säkerställa god termisk komfort och luftkvalitet.

3.4 Feedback och feedforward

Styrning av ventilation i byggnader består i huvudsak av feedbacksystem som med hjälp av olika givare placerade i byggnaden skapar en bild av hur klimatet var för en tid sedan, detta motsvarar ärvärdet. Med hjälp av förinställda parametrar regleras ärvärdet för att komma så nära börvärdet som möjligt. Ett sådant system är ofta långsamt och det kan ta lång tid innan stora och hastiga störningar registreras med följden att det tar lång tid för systemet att ändras.

Feedforwardsystem minskar dödtid och tröghet i systemet och påskyndar korrigeringen av ärvärdet genom att förutsäga störningarna som uppstår och tidigt reglera för att parera stora förändringar, ett exempel på detta är styrningen av radiatorer i byggnader. Genom att mäta utomhustemperaturen istället för temperatur i rummet kan en framtida förändring i temperatur inomhus förutsägas och för att kompensera för denna framtida förändring ändras framledningstemperaturen till radiatorerna. Detta system kräver endast givare utomhus och i framledningskanalen.

Simuleringar påvisar att feedforward ger en bättre funktionskontroll och minskar den totala energiförbrukningen (Thomas 2005).

4 Passagerarflöden på flygplatser

Detta avsnitt ger en kort genomgång av hur passagerarflöde, datahantering för detta flöde och ventilationsdimensioneringen på en flygplats beräknas och hanteras.

4.1 Flödesberäkning

Enligt de mätningar som Conformo Consult AB gjorde år 2000, på när avresande passagerare anländer till flygplatsen innan avgång, kan följande utläsas ur de tre olika kategorierna av resenärer som är; charter, utrikes och inrikes. Med störst marginal anländer charterresenärerna och börjar anlända så tidigt som tre timmar innan avgång och samtliga bör ha kommit 45 min före avgång, utrikesresenärerna kommer också de med god marginal till flygplatsen och samtliga bör ha kommit 15 min före avgång till skillnad från inrikes resenärer som anländer med liten marginal och där samtliga bör ha kommit 1 min före avgång (Walter 2000).

4.2 PAX-data

Enligt Per-Johan Skanz på Swedavia IT hanteras flygplatsens passagerardata på den gemensamma databasen. I denna databas finns information om bland annat; antalet passagerare för varje avgång, vilken gate planet avgår från, vilka fligheter som är transit (och därför inte kommer att belasta ventilationssystemet), när boarding till flygplanet påbörjas, med mera. Informationen finns i databasen senast sex timmar innan avgångstid. Denna databas, som hanteras via Microsoft BizTalk Server, innehåller då all information som krävs för att styra feedforward-systemet.

4.3 Dimensionering av ventilation på flygplatser

För att dimensionera ventilationen på flygplatser används den så kallade 30:e timmen, som innebär att flygplatsen dimensioneras utefter den 30:e mest belastade timmen på ett år. Detta medför att de timmar då passagerarbelastningen ligger över detta är kapaciteten på ventilationsflödet för låg och de timmar då passagerarantalet ligger under så är således ventilationsflödets kapacitet för hög. En flygplats innehåller i regel stora luftvolymmer på grund av stora lokaler med högt i tak, dessutom så passerar de flesta resenärerna lokalerna relativt snabbt och därför kan en viss tolerans mot obehag finnas. Till detta behöver tilläggas att de passagerare som väntar på transfer och de människor som arbetar på flygplatsen även de har rätt till ett bra inomhusklimat.

4.4 Komponenter som krävs för feedforward-reglering

Systemet kräver motorstyrda spjäll i ventilationskanalerna och genom dessa kan korrekt luftflöde uppnås genom att reglera systemtrycket. Förutom detta behöver DUC:en möjlighet att kommunicera med trafikplaneringsdatabasen för att bedöma det aktuella personflödet.

5 Simulering och mätning

I detta avsnitt beskrivs Kiruna flygplats och förutsättningarna för de olika simuleringar som gjordes.

5.1 Nuvarande system

Idag har Kiruna ett behovsstyrt system som regleras via DUC:ens vecko- och årsprogram. Normaldriften i veckoprogrammet är Måndag-Söndag 06.00-24.00 och övrig tid är lågdrift där aggregaten kan köras via timer eller om koldioxidhalten överstiger inställt värde. Under normaldrift styrs aggregaten TA4/FF4 mot koldioxid och temperatur se bilaga C (driftkort Kiruna TA4/FF4). Temperaturen regleras med en PI-regulator och koldioxidstyrningen är linjär med ett minvärde på 600 ppm och ett maxvärde på 1000 ppm då spjällen är fullt öppna, enligt Franz Åstradsson på Kieback & Peter ger detta en bra och enkel reglering av koldioxiden som vid bra projektering ger en balans på runt 700 - 800 ppm i rummet. Givarna för temperaturen och koldioxiden är av fabrikatet Calectro och modellen heter A-sense se bilaga D. Koldioxidgivarna är enligt Christer Heikki på Swedavia också inställda på att larma vid 1200 ppm.

5.2 Terminaler, lokal och rum

Kiruna flygplats består av en avgångshall, en restaurang, en ankomsthall och incheckning. Byggnaden är uppförd med utfackningsväggar med plåtreglar. Mellan hallarna finns inga dörrar, och in/utgångar till byggnaden sker genom skjutdörrar med lufttridå. Enligt Christer Heikki på Swedavia är hallarna 470 m² med en rumshöjd på 3 m och vid säkerhetskontrollen, som är 136 m², är rumshöjden 3 m med ett ventilerat installationstak ovan på 2,5 m. Den totala volymen inomhus som ventileras med TA4/FF4 är då 2158 m³.

5.3 Luftläckage Kiruna flygplats

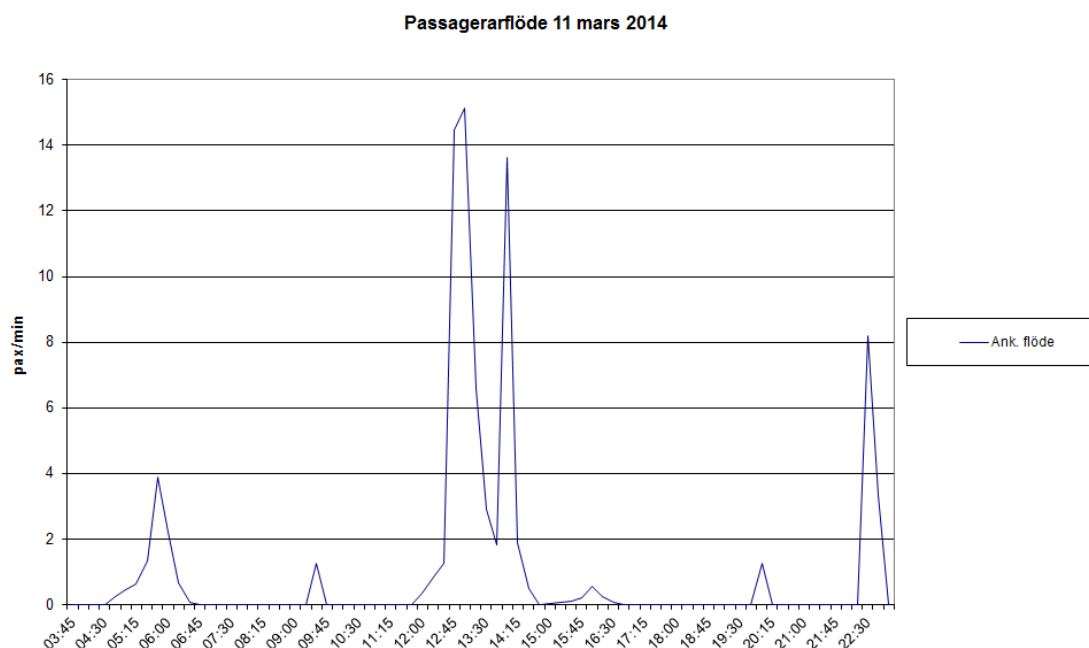
Volymen på hallarna inklusive säkerhetskontrollen på 2158 m³ ger oss ett uppskattat luftläckage, enligt metoden om 10 % av volymen som oms/h, på 215,8 m³/h vilket innebär 60 l/s som infiltration. Läckage till och från anslutande rum och genom entrén uppskattas och sätts till 100 l/s.

5.4 Förutsättningar för simulering

Tiden det tar för att den omblandade luften ska nå koldioxidgivaren är satt till 240 sekunder. Tidskonstanten hos givaren är satt till 240 sekunder enligt produktbeskrivning, bilaga D. Detta innebär att koldioxidgivaren har getts förutsättningar som troligtvis är bättre än verkligheten, vilket då är till fördel för feedback-systemet. Det är mindre sannolikt att tro att det existerande systemet kan prestera lika väl då många faktorer kan påverka denna tid negativt.

Antalet personer som passerar hallen i flygplatsen är tagna från enbart fullsatta flygplan för att komma nära den maximala belastningen på systemet. Tiderna för

deras ankomst till hallen är beräknad med hjälp av mätningar gjorda av Conformo Consult AB där resultat togs fram i form av procent av passagerarantalet som hade anlänt vid varje kvart före avgång beroende på vilken typ av resa som skulle göras, inrikes, utrikes och charter. För Kiruna flygplats finns enbart passagerare i kategori inrikes och utrikes. Kategorin charter har därför uteslutits. Procentsatser för varje kategori används sedan för att förutsäga antalet passagerare, se figur 1, som befinner sig i hallen den elfte mars 2014 enligt scenariot med fullsatta plan. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga E.



Figur 1 Passagerar flödet Kiruna flygplats

Feedforwardsystemet valdes efter ett antal provsimuleringar att få ankommande passagerarantal en kvart innan deras förväntade ankomst och att enbart reagera när det vistades mer än 100 personer i lokalen, vid mindre antal blev koldioxidhöjningen låg och ventilerades bort med lågdriften då passagerarna bara är i rummet under en kort tid.

För att genomföra en rättvis jämförelse har vi valt att använda samma grundvärden i alla simuleringar gjorda i Matlab, plug-in modulen Simulink, och enbart ändrat styrningen av flödet i de olika fallen.

6 Resultat från simulering

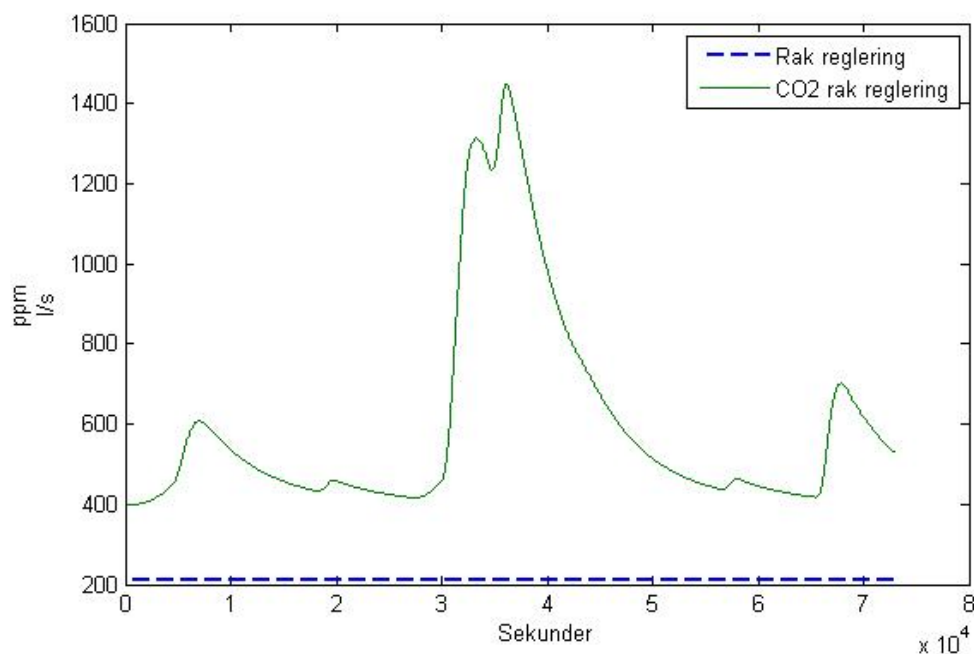
En rak simulering utfördes utan ändringar av flödet och enbart med lågdriften igång, det vill säga enbart med 0.35 l/s per m² golvyta. Till det gjordes en feedbacksimulering som efterliknar det nuvarande systemet på plats och en feedforward-simulering som konstruerades efter hur en eventuell styrning av ventilationsflödet skulle kunna ske. Simuleringstiden valdes till knappt ett dygn, 72900 sekunder vilket motsvarar 20.25 timmar. Den aktuella dagen valdes till den elfte mars 2014, se tabell 2 för värden på passagerarflödet.

Tabell 2 Passagerarflöden Kiruna flygplats 2014-03-11

Tid	Flight	DEST	ARRIVING FROM	A/C TYP	ACT PAX
06:10	SK 1049	ARN		737	123
06:25	U3221		LLA	BJ32	19
09:25	U3222	LLA		BJ32	19
12:45	DY4063		ARN	737	181
13:00	SK1042		ARN	737	123
13:10	DY4046	ARN		737	181
13:35	SK1045	ARN		737	123
13:55	SK1044	ARN		737	141
14:25	SK7895	HTA		737	141
16:40	U3225		UA	BJ32	19
19:45	U3226	UA		BJ32	19
22:25	SK1046	ARN		737	123

6.1 Rak simulering med konstant flöde

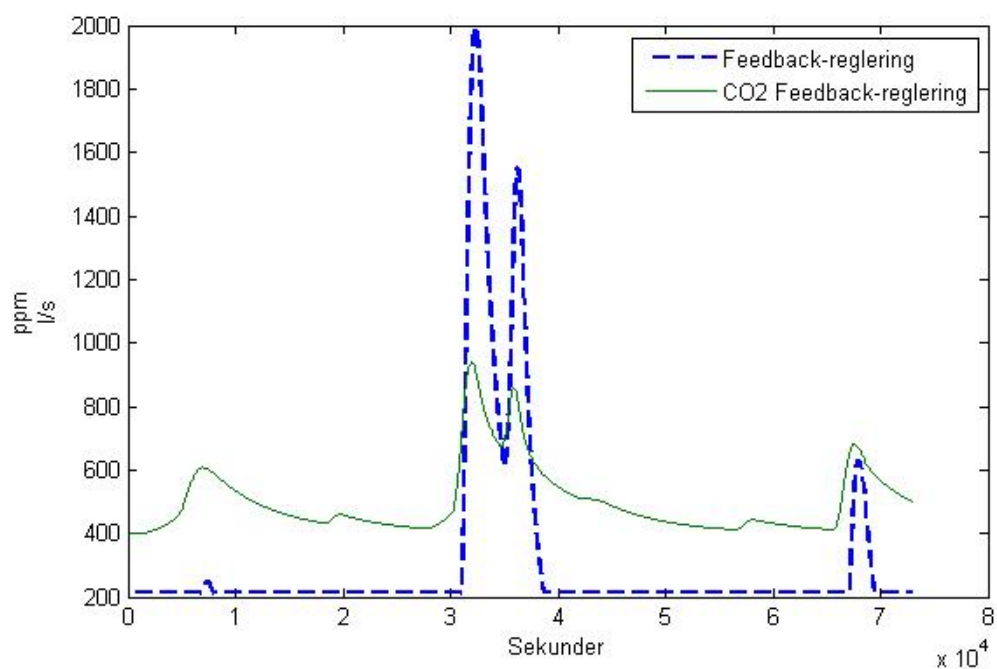
Den raka simuleringen med enbart lågdriften igång visar tydligt hur koldioxiden ansamlas till höga nivåer med ett maximum strax efter den största belastningen på 1448 ppm, se figur 2. När lokalen sedan är tom sker en gradvis men långsam återhämtning från de höga halterna. I detta fall blir det stundtals ett inomhusklimat med mycket höga föroreningar. Det är ändå av intresse att se vad som händer om ventilationssystemet helt saknar styrning. Detta är att jämföra med ett CAV-flöde, för att få ett fungerande CAV-flöde behöver grundflödet vara betydligt högre än vad simulering visar och i detta fall krävs 1000 l/s för att hamna under 1000 ppm vid största belastningen, detta styrsätt är det som är mest energikrävande då lokalen är överventilerad merparten av dygnet.



Figur 2 Ventilationen styrs enbart med ett rakt flöde på 0.2121 m³/s

6.2 Feedback – Nuvarande system

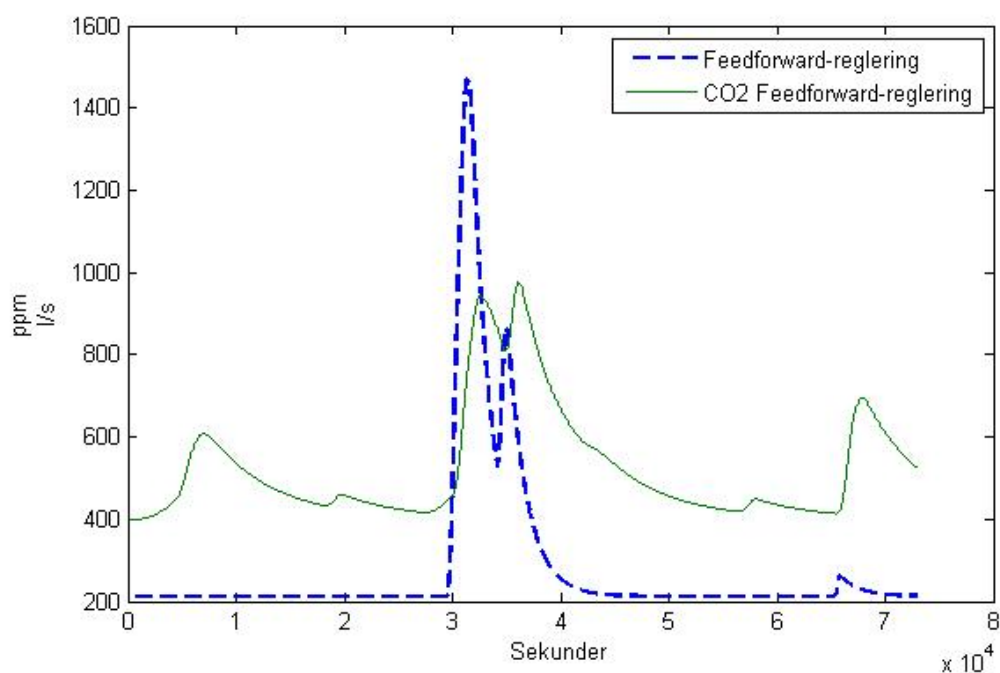
Från figur 3 framgår tydligt att feedbacksystemet ger kraftig respons när givarens undre tröskel på 600 ppm koldioxid överskrids. Ventilationsflödet ökar kraftigt för att motverka koldioxidhöjningen och allteftersom den naturligt minskar då människorna lämnar rummet för avresa fortsätter ventilationsflödet tills dess att den undre trösklen underskrids igen, därigenom ventileras rummet kraftigt även efter att de nedsmutsade elementen har avlägsnats med följden att även värme/kyla ventileras bort. I vår simulering har vi låtit feedbacksystemet vara väl intrimmat med snabb responstid och omblandning av luften för att ge detta system bästa förutsättningar.



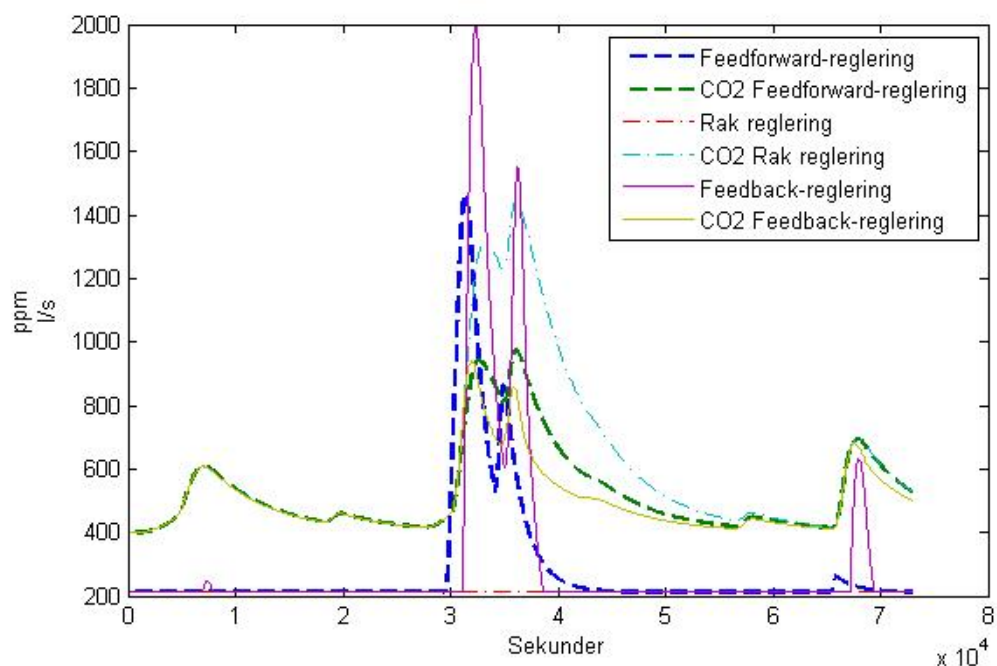
Figur 3 Reglering med feedback, fläkten varvar upp kraftigt för att svara mot en förorening som redan pågått under en tid och fortsätter även efter det att passagerarna lämnat flygplatsen.

6.3 Feedforward – Föreslaget

Feedforwardsystemet ger enbart ett initialt ökat flöde för att bromsa den kommande kontaminationen av luften i lokalen, därefter går systemet ned och låter lågdriften sköta bortforslingen av kvarvarande koldioxid, se figur 4. Detta sparar inte bara energi genom att fläkten använder mindre energi utan sparar även den energi som annars krävts för att kyla respektive värma lokalen. Från kurvorna kan utläsas att simuleringen av feedforwardsystemet ger 30 procent lägre luftflöde jämfört med feedback-systemet. Se figur 5 för en jämförelse av samtliga kurvor.



Figur 4 Reglering med feedforward, fläkten svarar på en kommande nedsmutsning och varvar ned strax 15 minuter innan föroreningen har försvunnit.



Figur 5 Samtliga regleringsystem med tillhörande koldioxidnivåer.

6.4 Simulink

Vi har använt oss av simuleringsverktyget Simulink som är en applikation till Mathworks Matlab. Simulink används för multisimulering, modellbaserad design och modulering av reglerteknik. Mätpunkterna delades in med "variable step"-metoden, vilket innebär att antalet mätpunkter per tidsenhet varierar med händelseförloppet, tätare vid större variationer och glesare vid mindre variationer i mätningen. För en mer detaljerad beskrivning av hur systemet är uppbyggt hänvisas till bilaga F.

7 Energiberäkning

För att uppskatta en rimlig avbetalningstid för ett feedforwardsystem på Kiruna flygplats är det nödvändigt att uppskatta hur stor energianvändning de olika systemen kan tänkas ha. Via simuleringar konstaterades att feedforwardsystemet har cirka trettio procent lägre luftflöde men eftersom fläktens effektbehov inte är proportionell mot flödet då turbulent strömning råder enligt;

$$\dot{W}_{12} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{\eta}$$

Där \dot{W}_{12} är effektbehovet för fläkten, \dot{V} är luftflödet, ΔP är tryckfallet över fläkten och η är verkningsgraden hos fläkten. Då ΔP vid turbulent strömning, vilket kan antas gälla över fläkten, uttrycks genom;

$$\Delta P = k_{turbulent} \cdot \dot{V}^2$$

det vill säga att tryckfallet är proportionellt mot flödet i kvadrat, kan slutsatsen dras att energianvändningen måste avgöras på ett annat sätt än via enbart information kring luftflödet.

7.1 Energianvändning för uppvärmning av tilluft

Ett varaktighetsdiagram är en grafisk representation av hur temperaturen varierar över året på en specifik geografisk plats. Temperaturen varaktighet beskrivs av Hallén ekvation;

$$t(h) = (h - 4380) * (3.9 - 0.086 * T) * 0.001 + T + \left(h * \frac{\left(\frac{8-T}{586} \right)^{38}}{8300} \right) - \left(\frac{1550}{700 + h} \right)^3 + 1.5 * \left(\frac{T}{8} * \frac{1200}{(500 + h)} \right)^2 * \cos\left(\frac{900 - h}{585} \right)$$

där t = temperatur [°C], h = timmar/år, T = medeltemperatur [°C]

Förutom temperaturens varaktighet behövs värmeåtervinnarens verkningsgrad, tillufttemperatur och frånlufttemperatur. Då verkningsgraden är enligt tillverkarens specifikationer sätts verkningsgraden i mätningarna något lägre eftersom LCC-analysen kommer att göras över 15 år och det kan anses osannolikt att verkningsgraden håller sig på sitt teoretiska maximum under hela sin tekniska livslängd. Från- och tilluftstemperaturer hämtas från driftkortet i bilaga C.

Tabell 3 Ingående data för varaktighetsdiagram för Kiruna

Timmar/år	8760 [h]
Medeltemperatur Kiruna	-1 [°C]
Verkningsgrad VÅV	75 [%]
Tilluftstemperatur	20 [°C]
Frånluftstemperatur	22 [°C]

Med varaktighetsdiagrammet för Kiruna, värmeåtervinnarens verkningsgrad, från- och tilluftstemperatur kan det energibehovet för luftvärmning bestämmas för varje timma bestämmas enligt ekvation;

$$Q = \rho * c_p * \dot{V} * \Delta t$$

Q =totala effekten

ρ =mediets densitet

c_p =specifika värmeöverföringskapaciteten

\dot{V} =luftflödet

Δt =temperaturdifferansen

Den tillförda energin för uppvärmning under ett år uppgår då till 19 607 kW, vilket är proportionellt mot flödet och kan därför användas för att bestämma ett LCC värde på feedforwardsystemet genom att beräkna kostnaden för uppvärmning för det nuvarande systemet och jämföra det med det trettio procent lägre flödet hos det föreslagna systemet. Feedbacksystemet har då ett värmebehov på 19 607 kWh medan feedforwardsystemet har ett värmebehov på 13 725 kWh.

7.2 Fläktens effekt

Vad gäller fläktens energianvändning, om antagandet görs att tryckfallet sker enbart över aggregatet, flödet är helt turbulent samt att fläktens verkningsgrad är konstant, kan detta uttryckas som;

$$\dot{W}_1 = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{\eta} = \frac{k_{turbulent}}{\eta} \cdot \dot{V}^2 \cdot \dot{V} = \frac{k_{turbulent}}{\eta} \cdot \dot{V}^3$$

Detta innebär att en sänkning av luftflödet med trettio procent innebär en sänkning av fläktens effekt med närmare sextiofemprocent enligt;

$$\frac{\dot{W}_2}{\dot{W}_1} = \frac{\dot{V}_2^3}{\dot{V}_1^3} = \frac{0.7^3}{1^3} = 0.343$$

där \dot{W}_1 är feedbacksystemets fläkteffekt och \dot{W}_2 är feedforward systemets fläkteffekt. Om istället antagandet görs att hälften av tryckfallet ligger över aggregatet och hälften av tryckfallet ligger över systemet så kan fläktens effektbehov istället beräknas som;

$$\dot{W}_{12} = \frac{\Delta P_{system} \cdot \dot{V}}{\eta}$$

Där ΔP_{system} uttrycks som;

$$\Delta P_{system} = k_{laminär} \cdot \dot{V} + k_{turbulent} \cdot \dot{V}^2$$

vilket ger

$$\dot{W}_{12} = \frac{(k_{laminär} \cdot \dot{V} + k_{turbulent} \cdot \dot{V}^2) \cdot \dot{V}}{\eta} = \frac{k_{laminär}}{\eta} \cdot \dot{V}^2 + \frac{k_{turbulent}}{\eta} \cdot \dot{V}^3$$

kvoten mellan de olika fläkteffekterna beskrivs då som;

$$\frac{\dot{W}_2}{\dot{W}_1} = \frac{\frac{k_{laminär}}{\eta} \cdot \dot{V}_2^2 + \frac{k_{turbulent}}{\eta} \cdot \dot{V}_2^3}{\frac{k_{laminär}}{\eta} \cdot \dot{V}_1^2 + \frac{k_{turbulent}}{\eta} \cdot \dot{V}_1^3} = \frac{1 \cdot 0.7^2 + 1 \cdot 0.7^3}{1 \cdot 1^2 + 1 \cdot 1^3} = 0.4165$$

vilket innebär en sänkning av fläkteffekten med cirka femtioåtta procent för feedforwardsystemet. Då sanningen troligtvis ligger någonstans mittemellan dessa två så används medelvärdet på trettioåtta procents lägre flöde.

Vad gäller fläkteffekten så är det känt från bilaga H att den installerade fläkteffekten är 7.5 kW. Det är osannolikt att det är den effekt som fläkten faktiskt använder men då information om SFP eller drift saknas så är det den effekt som kommer att användas i LCC-analysen.

8 LCC

I detta avsnitt beskrivs förutsättningar, metod och genomförandet av LCC-analysen. LCC-analysen är gjord enligt energimyndighetens mall.

8.1 Förutsättningar

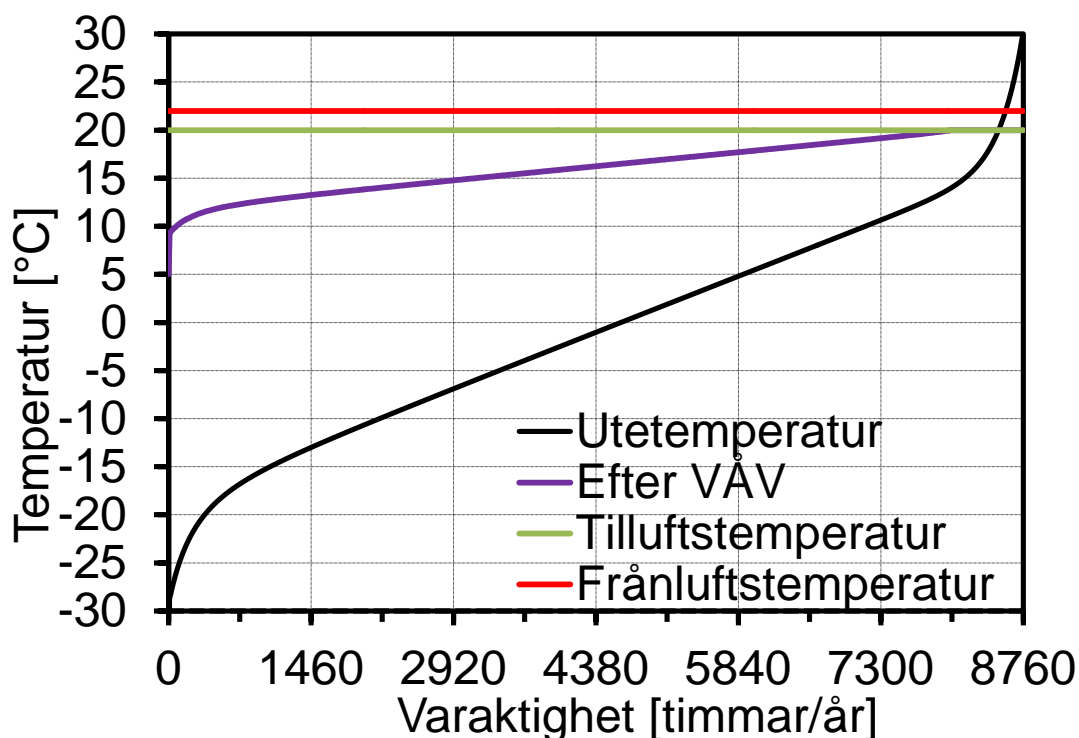
Enligt kapitel sju finns följande ingångsvärden för LCC-analysen;

	Feedback	Feedforward
Fläkeffekt	7.5 kW	2.85 kW
Drifttid	6570 h	6570 h
Värmeenergibehov	19 607 kWh	13 725 kWh

Kostnaden för energi har satts till 0,6 SEK/kWh, kalkylräntan till 4,0 % och brukstiden till 15 år.

8.2 Metod

Genom ett varaktighetsdiagram över Kiruna kan behovet för värme och kyla uppskattas för de olika luftflödena och på så sätt kan en energianvändning uppskattas för det trettio procent lägre flödet. Enligt kapitel 7.2 ansätts även fläkeffekten till 7.5 kW respektive $(7.5 \cdot (1 - 0.62) = 2.85)$ 2.85 kW för feedbacksystemet respektive feedforwardsystemet.



Figur 6 Varaktighetsdiagramm för Kiruna flygplats.

8.3 Genomförande av LCC-analys

För LCC-analysen för de olika systemen ansätts utrustning A (feedback-systemet, bilaga A) och utrustning B (feedforwardsystemet, bilaga B) till att ha samma brukstid, miljökostnad, underhållskostnad, drifttid och restvärde då det handlar om samma fläkt. Visserligen kan den jämnare driftkurvan hos feedforwardsystemet innebära mindre slitage på utrustningen men i detta fall bortses analysen från detta. Elpriset sätts till 0,6 SEK/kWh, kalkylräntan till 4,0 % och brukstiden till 15 år. Det som skiljer systemen åt är att utrustning A har en energianvändning på 19607 kWh/år och utrustning B har en energianvändning på 13725 kWh/år. Genom att ändra investeringskostnaden för utrustning B, då utrustning A är i bruk och installerad och därför inte kräver någon investering, visar LCC-analysen att feedforwardsystemet är kostnadseffektivt om investeringskostnaden är lägre än 164 000 SEK men för att få en rimlig återbetalningstid (6 år) får investeringskostnaden högst vara 90 000 SEK.

Detta är beräknat enbart på en besparing som görs genom att flödet minskar och mindre värme ventileras bort.

9 Slutsatser och diskussion

I detta avsnitt presenteras en sammanställning av resultatet och slutsatser från simuleringen gjord i Simulink. Vi ger även några rekommendationer för vidare studier samt förslag på fördjupningar. Diskussionen sker kring fördelar och nackdelar kring feedforward och simuleringen.

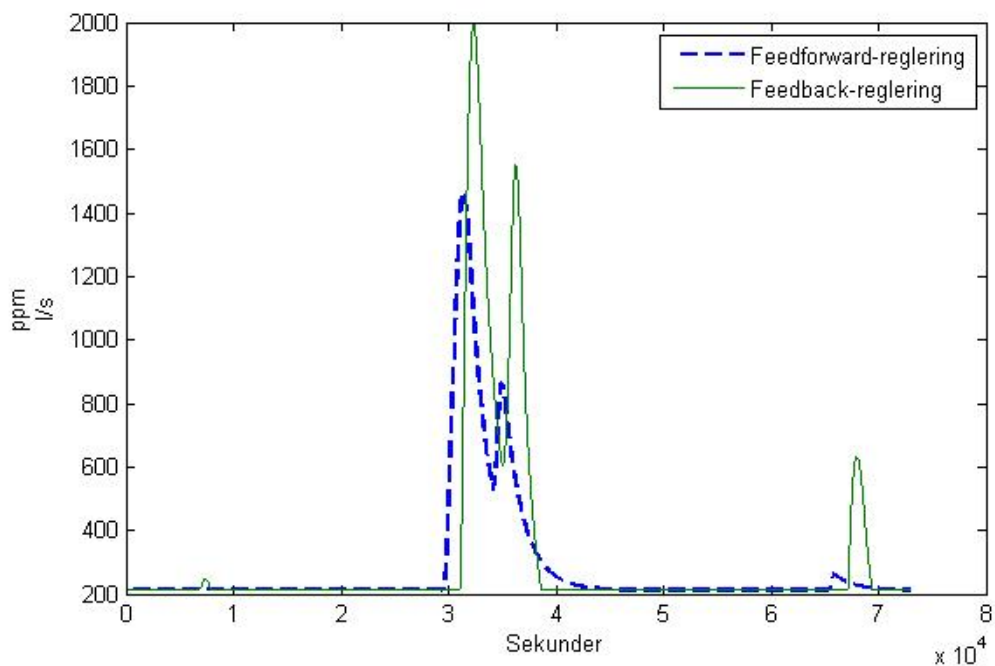
9.1 Feedforward

Är feedforward något för framtiden? Det finns en naturlig tröghet i byggbranschen mot teknikskiften och det beror troligen på den långa livslängden på fastigheter där driften står för majoriteten av kostnaderna under byggnadens livscykel och man då får leva med det valda systemet en längre tid.

Vi anser att feedforward kan tillämpas på lämpliga fastigheter då det finns stora besparingar att göra i framtiden men det krävs några pionjärer inom området som kan visa att de energibesparingar som görs med feedforward reglering är både ekonomiskt och miljömässigt genomförbara.

Vi har i denna rapport enbart tittat på tillämpningen av feedforward på en flygplats, men vi tror att det finns många andra användningsområden för feedforward-styrning av ventilation i andra lokaler med liknande mönster av förväntade störningar. Enligt våra simuleringar pekar allt på att stora besparingar kan göras genom att minska onödig ventilering av tomma rum och att då acceptera en kvarvarande högre halt av koldioxid som långsamt minskas när rummen står tomma. Hallarna har också en stor volym vilket leder till en inbyggd tröghet i ventilationen då det sker en utspädningseffekt av inomhusluften vilket innebär att det kan ta lång tid för en förändring att registreras av en givare.

Trots att vi gav feedbacken de bästa förutsättningarna med snabb responstid och stor luftomblandning för att föroreningar skall nå givaren på mycket kort tid så visar feedforwardsystemet ändå på en energibesparing på mer än trettio procent för driften av fläktsystemet då feedforwardsystemets luftflöde är mer än trettio procent lägre än feedbacksystemets luftflöde. Jämförelsen har gjorts genom att integrera feedforwardsystemets driftkurva med feedbacksystemets driftkurva. I figur 7 syns de båda kurvorna i samma graf.



Figur 7 Arean under kurvan motsvarar energianvändningen för fläkten, vilket ger skillnaden i energianvändning via integrering av de båda kurvorna.

9.2 Diskussion om den undersökta platsen

I detta specifika fall tillät vi koldioxidhalten att vara strax ovan 1000 ppm då passagerarna enbart vistas i lokalen tillfälligt och lokalen övriga tider står praktiskt taget tom. Hade det varit en mer aktiv flygplats med tätare avgångar och ankomster så hade behovet av att ständigt ligga under gränsvärdet 1000 ppm varit mer aktuellt, men större flygplatser är indelade i mindre terminaler och gater som var för sig kan jämföras med Kirunas flygplats. Mer exakta kurvor skulle fås om tidsintervallet minskades från varje kvart till tätare mätningar och att en ny undersökning av beteendet inför resor genomförs med syftet att se om passagerares resvanor har ändrats sedan Conformo Consult AB genomförde sin mätning 2001.

Vi ser tydligt att luftflödet kan minskas utan att riskera en försämring av inomhusmiljön, men den stora besparingen i det här fallet ligger inte i minskningen av luftflödet utan i att minska mängden värme som i onödan ventileras bort. Kirunas geografiska placering innebär dessutom en lång period av uppvärmning och således finns stora besparingar i att ventilering av tomma rum minskas. På samma sätt finns det stora besparingar att göra på flygplatser som har ett stort kylbehov.

Med lägre luftflöden kan dessutom kanaldimensioner minskas och ett mindre aggregat användas, detta leder till att mindre utrymme används av installationer och mindre material används.

9.3 Osäkerheter i beräkningar

Då inga mätningar på Kiruna flygplats har genomförts så ska alla mätningar i denna rapport betraktas som rent teoretiska. Rapporten ansätter CO₂ som den dimensionerande parametern men i ett verkligt fall kan temperaturen visa sig vara den dimensionerande faktorn. Detta kan leda till att de lägre luftflödena hos

feedforwardsystemet leder till en oacceptabel inomhustemperatur och högre flöden måste användas i vilket fall. Beräkningarna för de olika fläkteffekterna är även de grovt antagna men visar ändå på en potential hos den här sortens reglering.

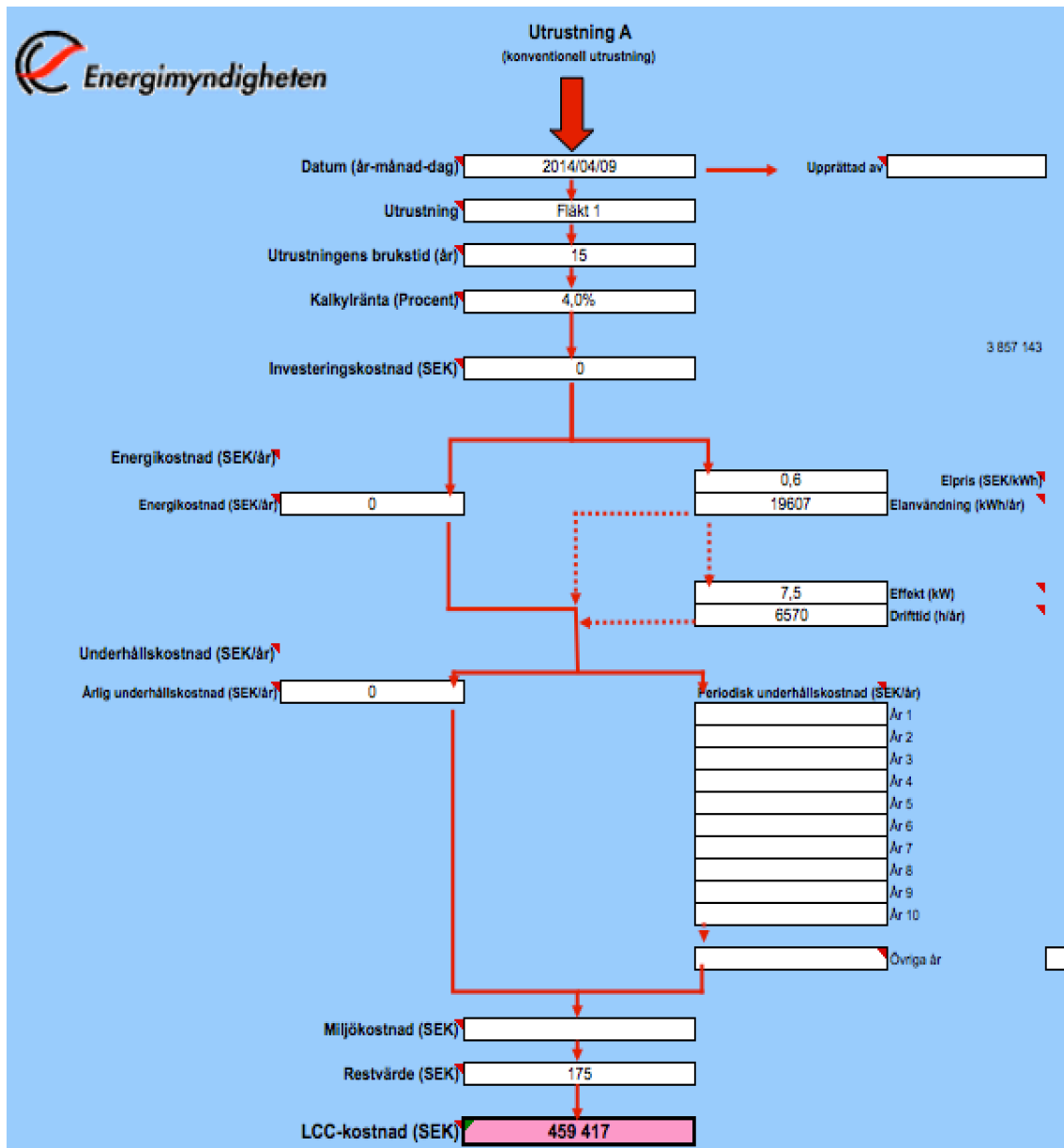
9.4 Rekommendationer och fördjupningar

- Då tekniken finns och kommer att utvecklas och användas betydligt mer i framtiden än vad den görs idag så borde den få ta mer plats i installationskurserna som ges på Chalmers.
- En djupare studie i hur stora besparingar som verkligen kan uppnås i energiförbrukningen i alternativen värme och komfortkyla.
- Att genomföra denna undersökning med noggranna mätningar i ett befintligt fall skulle ge en mer exakt bild av möjliga besparingar.
- Det vore intressant att även titta på andra platser med liknande förutbestämda människoflöden som till exempel Operor, teatrar, vänthallar etc.
- Att genomföra en enkät ibland VVS-konsulter och beställare av deras tjänster, för att undersöka inställningar och kunskaper kring feedforwardreglering.
- Göra simuleringar alternativt verklig undersökning om möjligheten att låta ett visst värde av koldioxidhalten (t.ex. 1000 ppm) hållas konstant vid närvaro, oberoende av antal personer i rummet, och i övrigt låta lågdriften ta ner halten när lokalen är tom för att på så sätt acceptera lättare nedsmutsning inom uppsatta gränser för att få besparingar.

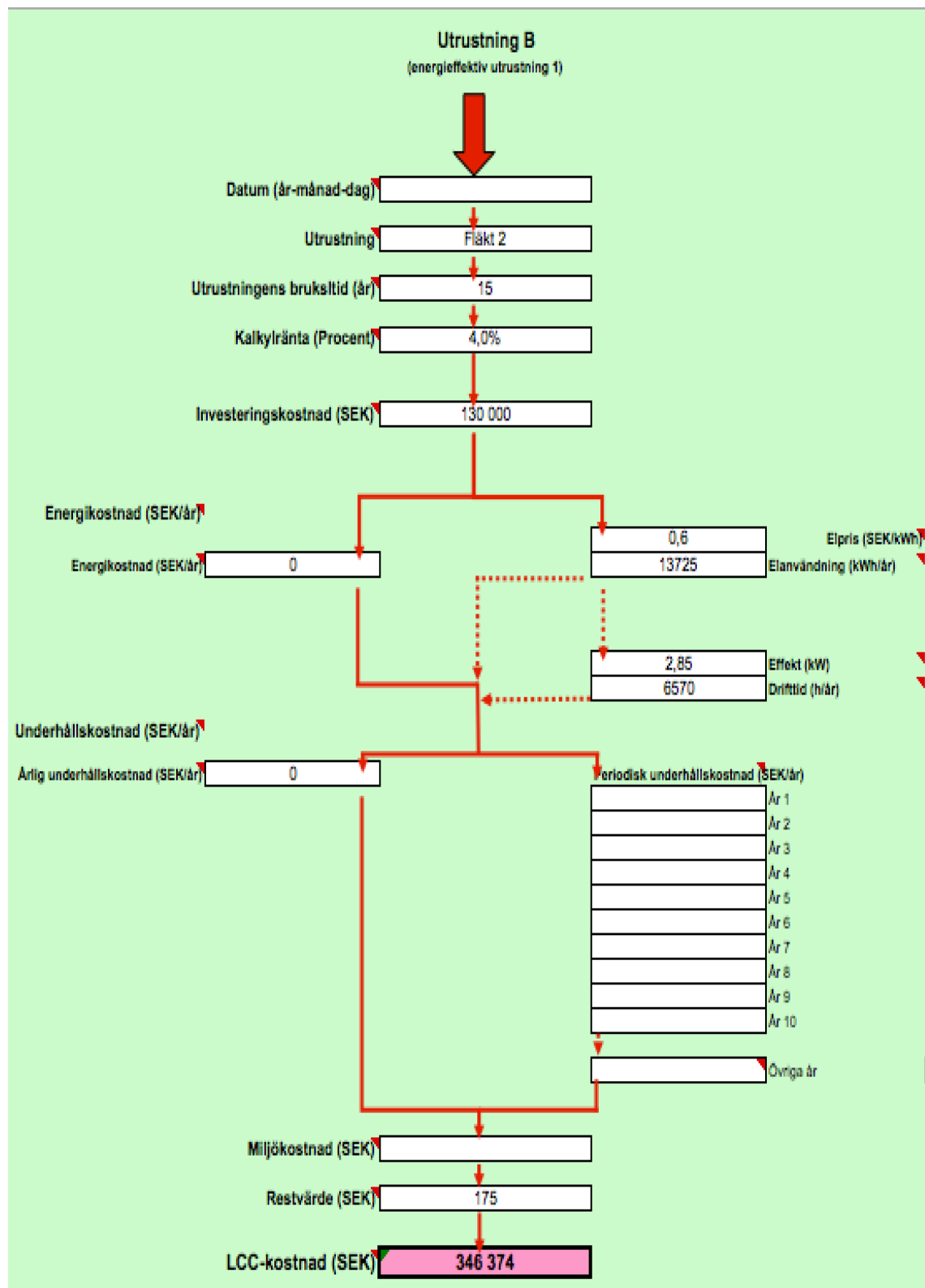
10 Referenser

- Arbetsmiljöverket (2009) Arbetsplatsens utformning AFS 2009:02. Arbetsmiljöverkets författningssamling, Stockholm.
- Boverket (2012) Krav på funktionskontroll av ventilationssystem. Boverket, Karlskrona, 4 sid.
- Energimyndigheten och Boverket (2013) *Förslag till nationell strategi för energi-effektiviserande renovering av byggnader- Gemensamt uppdrag* Energimyndigheten och Boverket 2013:22, Publikationsservice, Karlskrona
- Fastighetsägarna (2014) Prognosstyrning.
http://www.fastighetsagarna.se/service/teknik_2/miljo-energi/energieffektiviseringar/prognosstyrning. (2014-02-06).
- Folkhälsomyndigheten (2014) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus FoHMFS 2014:13. Folkhälsomyndigheten, Folkhälsomyndighetens författningssamling.
- Folkhälsomyndigheten (2014) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om höga ljudnivåer FoHMFS 2014:15. Folkhälsomyndigheten, Folkhälsomyndighetens författningssamling.
- Folkhälsomyndigheten (2014) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus FoHMFS 2014:17. Folkhälsomyndigheten, Folkhälsomyndighetens författningssamling.
- Folkhälsomyndigheten (2014) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation FoHMFS 2014:18. Folkhälsomyndigheten, Folkhälsomyndighetens författningssamling.
- Naturvårdsverket (2014) Sverige utan nettoutsläpp av växthusgaser 2050.
<http://www.naturvardsverket.se/fardplan2050>. (2014-03-11).
- Petersson, B-Å. (2009) *Tillämpad byggnadsfysik*. Studentlitteratur AB, Lund, 135 sid.
- Reginproducts (2014) Reglersystem.
<http://www.reginproducts.se/Product/document.aspx?DBDocId=476735&Profile=Sweden>. (2014-02-06).
- Smuts, J. (2011) A tutorial on feedforward control.
<http://blog.opticontrols.com/archives/297>. (2014-01-20).
- Thomas, B. Fahlén, P. och Soleimani-Mohseni, M. (2005) Feed-forward in temperature control of buildings. *Energy and buildings*, vol. 37, ss 755-761.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.002>.
- Walter, A. Färjehage, M. och Aronson, U. (2000) *Metodbeskrivning för optimering av trafikall yta inom Terminalbyggnadens transitarea*. Conformo Consult AB, Göteborg.

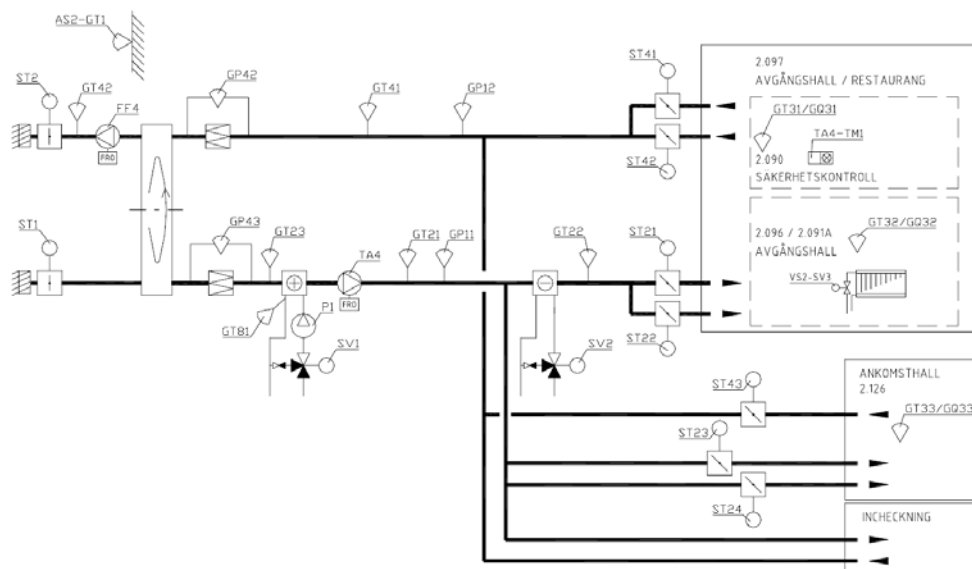
Bilaga A: LCC-analys feedback-system



Bilaga B: LCC-analys feedforward-system



SB01-AS2 Stationsbyggnad Kiruna Flygplats	Sida 1/3
FUNKTION OCH DRIFT 2012-12-17	TA4/FF4
Handläggare: Franz Åstradsson	Relationshandling



SYSTEM TA4/FF4

- **ALLMÄNT**
- Betjäna: TA4/FF4 förser Stationsbyggnad, Kiruna Flygplats med ventilation.
- Placering: Aggregat är placerat i fläktrum plan 2.
TA4-TM1 (Timer för försenad avgång) är placerad i säkerhetskontroll rum 2.090.
- **STYRNING**
- Driftstiderna av Tilluftsfläkt TA4 och frånluftsfläkt FF4 styrs via DUC:s vecko- och årsprogram.
- Vid uppstart startas först FF4, ST1, ST2 öppnar, därefter startas TA4 efter inställd tid.
- Aggregatet kan även startas upp utanför ordinarie drifttider via timer TM1 placerad i säkerhetskontrollen eller om CO2 halten vid någon av givarna GQ31-33 överstiger inställt värde.
- Aggregatet kan stoppas via servicebrytare BR2 (läge 0).
- Via tryckknappar på skåpet kan aggregat startas/stoppas manuellt.
- Vid stopp av aggregatet stoppas tilluftsfläkt TA4 och frånluftsfläkt FF4 samt ST1, ST2 stänger för uteluft.
- Frånluftsfläkt FF4 och tilluftsfläkt TA4 förreglar varandra via tryckgivare GP11, GP12 och larm från FRO.
- Pump P1 styrs behovsberoende via DUC och har pumpmotion. Vid temperatur understigande inställt värde på utetempgivare AS2-GT1 förhindras blockering av P1.
- **FUNKTION TRYCKREGLERING TA4/FF4**
- Tryckregleringen växlar mellan lågdrift och normaldrift via DUC:s veckoprogram eller via timer TM1.
- Normaldriftläget startas även om CO2 halten i ankomst eller avgångshallen överstiger inställt värde.
- **TRYCKREGLERING TA4**
- Tryckgivare GP11 styr via DUC frekvensomformare så TA4's varvtal styrs till inställt tryck i tilluftskanalen (börvärdet skiftar beroende på aktuellt driftfall).
- **TRYCKREGLERING FF4**
- Tryckgivare GP12 styr via DUC frekvensomformare så FF4's varvtal styrs till inställt tryck i frånluftskanalen (börvärdet skiftar beroende på aktuellt driftfall).

Aktergatan 3, 271 55 Ystad
Telefon: 0411-660 80 Telefax: 0411-66079
E-mail: info@kieback-peter.se

kieback&peter
Teknologi för byggnadsautomation

SB01-AS2 Stationsbyggnad Kiruna Flygplats	Sida 2/3
FUNKTION OCH DRIFT 2012-12-17 Handläggare: Franz Åstradsson	TA4/FF4 Relationshandling

- **FUNKTION TEMPERATURREGLERING TA4/FF4**
- Temperaturregleringen växlar funktion beroende på om avgångshallen är i drift eller ej. Växling sker antingen via tidkanal i DUC eller via timer TM1 för försenad avgång placerad i säkerhetskontrollen till avgångshallen. Växling mellan driftlägena sker även om det indikeras hög temperatur eller hög CO2 halt i avgångshall via tempgivarna GT31/GT32 eller CO2 givarna GQ31/32 (Maxvärdet hos dessa givarna).
- **TEMPERATURREGLERING TA4 VID AVGÅNGSHALL I DRIFT.**
- Temperaturgivare GT31 och GT32 (Medelvärde) reglerar via datorundercentral DUC2 i sekvens, SV1, VVX och SV2 så att inställd rumstemperatur uppnås.
- Temperaturgivare GT22 min- respektive maxbegränsar tilluftstemperaturen.
- Sekvens vid ökande temperatur:
 1. Stänga SV1 för värme
 2. Sänka varvtalet på VVX från 100-0%
 3. Öppna SV2 för kyla.
 Vid sjunkande temperatur omvänd sekvens.
- **TEMPERATURREGLERING TA4 VID AVGÅNGSHALL EJ I DRIFT.**
- Temperaturgivare GT21 reglerar via datorundercentral DUC2 i sekvens, SV1 och VVX så att inställd tilluftstemperatur uppnås.
- Aktuellt börvärde för tilluftsgivare GT21 förskjuts via aktuell utetemperatur enligt inställd kurva.
- Sekvens vid ökande temperatur:
 1. Stänga SV1 för värme
 2. Sänka varvtalet på VVX från 100-0%
 Vid sjunkande temperatur omvänd sekvens.
- **TEMPERATUR / CO2 REGLERING AVGÅNGSHALL.**
- Temp.givare GT31 och GT32 (medelvärde) reglerar i sekvens radiatorventil VS2-SV3 samt luftflödet till avgångshall genom att öppna spjäll ST23, ST24 och ST43 så att inställt börvärde uppnås..
- Sekvens vid ökande temperatur:
 1. Stänga VS2-SV3 för värme (Radiatorventil VS2-SV3 blockeras om TA4-SV2 (för kyla) är öppen)
 2. Öppna spjäll ST21, ST22 samt ST41, 42 från minflöde till maxflöde
 Vid sjunkande temperatur omvänd sekvens.
- CO2 givare GQ31 och GQ32 (medelvärde) reglerar luftflödet till avgångshall genom att öppna spjäll ST21/ST22, ST41/ST42 enligt inställd kurva vid ökande CO2 halt i hallen.
- **TEMPERATUR / CO2 REGLERING ANKOMSTHALL.**
- Temperaturgivare GT33 styr luftflödet till ankomsthallen genom att öppna spjäll ST23, ST24 och ST43 enligt inställd kurva vid ökande temperatur i hallen.
- CO2 givare GQ33 styr luftflödet till ankomsthallen genom att öppna spjäll ST23, ST24 och ST43 enligt inställd kurva vid ökande CO2 halt i hallen.
- **FRYSSKYDD GT81**
- Frysskyddet har följande funktioner:
 - Reglerande frysskydd vid aggregat i drift
 - Stilleståndsreglering vid aggregat ur drift.
- Vid utlöst frysskydd har det 3 funktioner:
 1. Stoppa TA4 och FF4
 2. Starta P1
 3. Öppna SV1 till 100%
- Larmet återställs via Servicebrytare (läge 0).
- **FRYSSKYDD GT21**
- Vid utlöst frysskydd har det 3 funktioner:
 1. Stoppa TA4 och FF4
 2. Starta P1
 3. Öppna SV1 till 100%
- Larmet återställs via Servicebrytare (läge 0).
- **VERKNINGSGRADSMÄTNING VVX**
- Temperaturgivarna GT41, GT42 och GT23 mäter via DUC verkningsgraden för värmeväxlaren.
- **BRAND**
- Vid larm från centralt brandlarm stoppas system TA4/FF4 och ST1 och ST2 stänger.

SB01-AS2 Stationsbyggnad Kiruna Flygplats		Sida 3/3
FUNKTION OCH DRIFT	TA4/FF4	
2012-12-17		Relationshandling
Handläggare: Franz Åstradsson		

-	LARM (Alla larm kvitteras på DUC. Observera att dom larm som återställs manuellt, återställs där först.)	
-	LARM	Prioritet
-	GT21 Frysrisk	2
-	GT81 Frysrisk	2
-	Hög CO2 halt Avgångshall (GQ31/GQ32 maxvärdet)	3
-	Hög CO2 halt Ankomsthall (GQ33)	3
-	TA4-FRO Driftsfel frekvensomf.	3
-	FF4-FRO Driftsfel frekvensomf.	3
-	P1 Motorskydd (Driftfel)	3
-	P2 Motorskydd (Driftfel)	3
-	GP11 Fläktvakt (Tryckgivare)	3
-	GP12 Fläktvakt (Tryckgivare)	3
-	GP42 Igensatt filter	3
-	GP43 Igensatt filter	3
-	TA4 Låg verkningsgrad återvinning	3

- **INSTÄLLNINGSVÄRDEN vid leverans.**

- Börvärde tilluft (vid avgångshall ej i drift)	AS2-GT1 20°C 0°C -20°C
	TA4-GT21 18°C 20°C 22°C

- Larmgräns fläktvakter GP11,GP12	Se vents injusteringsprotokoll.
- Larmgräns filtervakter GP42,GP43	Se vents injusteringsprotokoll.
- Tryckbörvärde Tilluft	Se vents injusteringsprotokoll.
- Tryckbörvärde Frånluft	Se vents injusteringsprotokoll
- Frysskydd GT21	<7°C
- Frysskydd GT81	<7°C
- Stilleståndsreglering GT81	25°C
- Utetemperaturföregling av stilleståndsreglering	<10°C
- Reglerande frysskydd GT81	Mellan 12°C och 7°C blir utsignalen på styrventilen 0% till 100%
- Kontinuerlig drift P1	<10°C utetemperatur
- Veckoprogram normaldrift	Mån-Sön 06.00-24.00

Börvärde vid avgångshall i drift:

- Börvärde GT31,GT32 (Medelvärde)	20°C
- Min. begränsning GT22	16°C
- Max. begränsning GT22	30°C
- Veckoprogram avgångshall	enl. aktuell tidtabell

A-SENSE OCH UG-A-SENSE

Koldioxid och temperaturgivare. Kanal- eller rumsmontage.



TEKNISKA DATA

Matningsspänning:	24 VAC/DC±20%, 50-60 Hz halv vågslätkriktad ingång)
Strömförbrukning:	< 3 W (120 mA) medelvärde
Linjära utgångar:	UTG.1 & UTG.2 0/2-10 VDC, max 2 mA eller 0/4-20 mA, Rload < 500 Ohm Utgångarna konfigureras med byglar för spänning/ström samt 0-100% / 20-100%
Reläutgång tillval:	UTG.3, NO. Kontaktfritt relä min.last 1mA/5V, max.last 0,5A/125VAC; 1A/24VDC 0 till + 50°C
Driftstemperatur:	0 till + 50°C
Förvaringstemperatur:	-20 till + 70°C
Driftsfuktighet:	0 till 95% fukt (icke- kondenserande)
Starttid:	≤ 1 min. (@ full spec ≤ 15 min)
Förväntad sensorlivslängd:	> 15 år
Mätprincip CO₂:	Ickedispersiv infraröd (NDIR) med Automatic Baseline Correction (ABC)
Gasinsamling:	Diffusion
Svarstid (T1/e):	2 min. diffusionstid
Noggrannhet CO₂:	Normalt ± 1% av mätområde ± 5% av uppmätt värde < ± 0,3% av mätområde
Årlig nollpunktsdrift:	< ± 0,3% av mätområde
Mätprincip temperatur:	Termistor
Mätområde temperatur:	-20 till +60°C
Noggrannhet temperatur:	Normalt ± 1°C
Mått (HxBxD):	Rumsgivare 120x82x30 mm Kanalgivare 287x150x110 mm
Kapslingsklass:	Rumsgivare IP20 Kanalgivare IP54

EGENSKAPER

- Infraröd mätteknik (NDIR)
- Automatisk självdiagnostik
- Normalt underhållsfri
- Nätverkskommunikation via RS485 som tillval
- LonWorks och Modbus som tillval

FUNKTION

A-SENSE är en mikroprocessorbaserad temperatur- och koldioxidtransmitter för installation i klimatzonen. A-SENSE känner av omgivande luft, omvandlar resultatet till analog och digitala signaler, och skickar dessa vidare till övergripande system. A-SENSE kan levereras med eller utan display och relä samt för rums- eller kanalmontering. Självkalibreringen (ABC-funktion) är nyckeln till underhållsfri drift. Förutsättningen är normal inomhusmiljö, eller applikationer där någon typ av ventilation förekommer (åtminstone vid något tillfälle under en veckoperiod).

ANVÄNDNING

A-SENSE är anpassad till att styra ventilation genom att överföra den uppmätta koldioxidhalten och temperaturen till systemets DUC (dataundercentral). Givaren är en grundkomponent som passar för en rad olika ventilationsstrategier. Vid ventilationsstyrning med hjälp av CO₂ (behovsstyrd ventilation) behålls ett hälsosamt inneklimat samtidigt som energi sparas.

Enligt Arbetsmiljöverket 2000:42: skall en koldioxidhalt under 1000 ppm eftersträvas i lokaler där människor vistas vilket motsvarar ett luftflöde på minst 7 liter per sekund och person. Koldioxidhalten används som indikator på att luftkvaliteten, och därigenom luftflödet, är tillfredsställande.

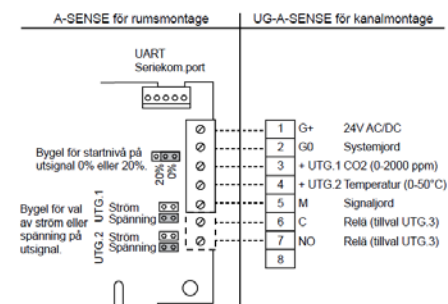
MONTERING

Se medföljande installationsavisning.

UNDERHÅLL

Vid rumsinstallationer är A-SENSE normalt underhållsfri då självkalibreringsfunktionen (ABC) är aktiverad.

KOPPLINGSSCHEMA



A-SENSE OCH UG-A-SENSE

Koldioxid och temperaturgivare. Kanal- eller väggmontage.



BESTÄLLNINGSEXEMPEL

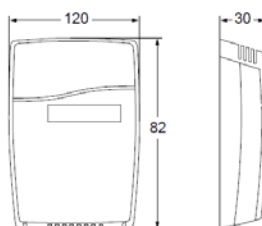
Artikelkod	Benämning
A-SENSE (-R)	Väggmontage utan display (relä tillval)
A-SENSE-D (-R)	Väggmontage med display (relä tillval)
A-SENSE-MB	Väggmontage med Modbus utan display
UG-A-SENSE (-R)	Kanalgivare utan display (relä tillval)
UG-A-SENSE-D (-R)	Kanalgivare med display (relä tillval)
UG-A-SENSE-MB	Kanalgivare med Modbus utan display

TILLBEHÖR

Artikelkod	Benämning
A232 CABLE	Programmeringskabel

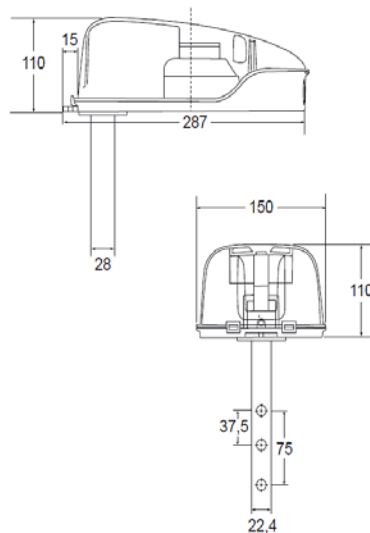
För A-SENSE med reläutgång, IP54 industrikapsling, Modbus, RS485 eller LonWorks, vänligen kontakta vår säljavdelning.

MÄTTUPPGIFTER (mm)

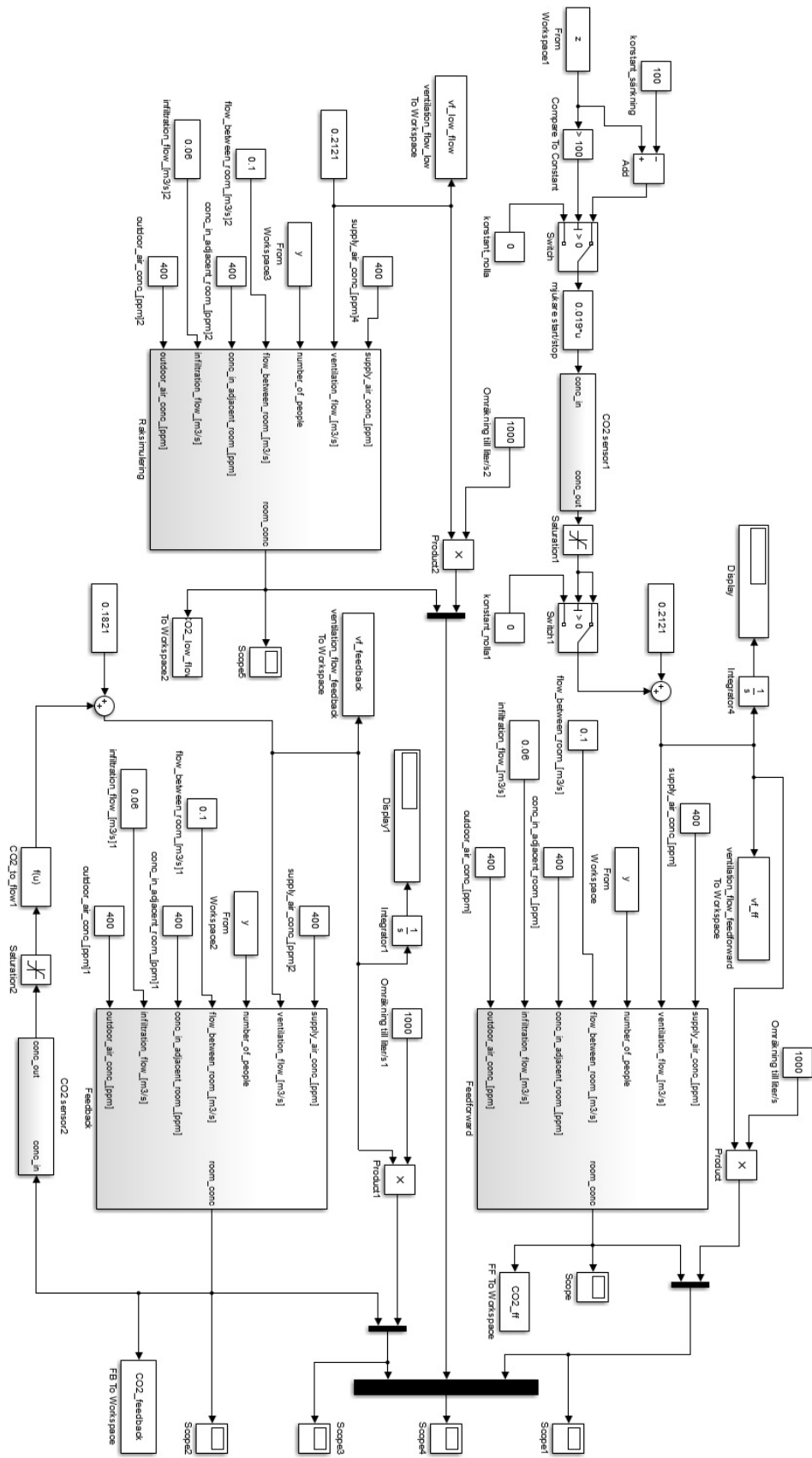


Standardkonfigurering av A-SENSE transmitterutgångar

Plint	Standard-konfigurering	Standard-inställningar
UTG.1	0-10 VDC	0-2000 ppm CO ₂
UTG.2	0-10 VDC	0-50°C
UTG.3 tillval relä	Slutet Öppet	>1000 ppm CO ₂ <900 ppm CO ₂



Bilaga F: Simulinkmodell



Bilaga G: Varaktighetsdiagram Kiruna

