



LUND UNIVERSITY

Fuktregering av regenerativ värmväxling med värmning av uteluft eller frånluft

Jensen, Lars

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2011). *Fuktregering av regenerativ värmväxling med värmning av uteluft eller frånluft*. (TVIT; Vol. TVIT-7068). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Fuktreglering av regenerativ värmeväxling med värmning av uteluft eller frånluft

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/7068



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rök-spridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Fuktregering av regenerativ värmeväxling med värmning av uteluft eller frånluft

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2011
ISRN LUTVDG/TVIT--11/7068--SE(27)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1 Inledning och problemställning	5
2 Förvärmning av uteluft för x_f 5-8 g/kg	7
3 Förvärmning av frånluft för x_f 5-8 g/kg	17
4 Avslutning och slutsatser	27

1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är att komplementera tidigare arbete om fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling med en ren metallrotor genom att undersöka hur fuktreglering kan ske med förvärmning av uteluft eller förvärmning av frånluft. Följande fyra arbetsrapporter beskriver en beräkningsmodell för en rotor och olika former av fuktreglering.

- TVIT—10/7048 Fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling
- TVIT—10/7053 Fuktreglering av regenerativ värmeväxling
- TVIT—10/7055 Mer fuktreglering av regenerativ värmeväxling
- TVIT—10/7062 Fuktreglering av regenerativ värmeväxling med ventilationsflöde, varvtal eller vädning

Rotormodellen beskrivs tidigare i TVIT—10/7048. En rotorkanal i en regenerativ värmeväxlare modelleras med fyra tillståndsekvationer för luftens temperatur och vatteninnehåll, rotorns temperatur och vatteninnehåll under en halv period med uteluft och en halv period med frånluft.

Resultat från dessa arbetsrapporter visade att det fanns behov för att minska fuktöverföringen för att undvika allt för höga fukthalter i bostäder. En möjlighet är att minska rotorns varvtal varvid temperaturverkningsgraden minskar något, medan fuktverkningsgraden minskar betydligt mer. Renblåsning av rotorn är något som minskar både temperatur- och fuktverkningsgrad. Detta har behandlats i TVIT—10/7053.

Fuktreglering kan även ske genom att luftflödet eller lufthastigheten genom den regenerativa värmeväxlaren ändras. Nerreglering av rumsluften eller frånluftens vatteninnehåll kräver en flödesökning vid konstant varvtal, vilket ökar tillsatsvärmebehovet jämfört med ett basfall.

Arbetsrapporten TVIT—10/7055 redovisar en manuell fuktflödesreglering för att undvika kondens. Brukaren bestämmer först utetemperatur och relativ luftfuktighet i frånluft eller rumsluft och därefter med ett diagram hur mycket flödet skall eller kan ändras för att nå kondensgränsen eller hålla en viss marginal till densamma. Samma arbetsrapport undersöker fuktreglering med både varvtal och luftflöde till ett önskat vatteninnehåll. Förbättringen gentemot enbart varvtalsreglering eller enbart flödesreglering är inte särskilt stor.

Arbetsrapporten TVIT—11/7062 undersöker hur fuktreglering kan ske med ventilationsflöde, varvtal eller periodtid, vädning eller intermitterent rotordrift för ett givet ute- och innelufttillstånd för olika fuktillskott.

Uppfuktning av rumsluft begränsas vintertid av SOSFS 1999:25 till högst 2.5 g/kg (egentligen 3 g/m³ i texten). Det finns ett annat krav i SOSFS 1999:21 som vintertid begränsar rumsluftens vatteninnehåll till högst 7 g/kg, vilket för temperaturen 21 °C motsvarar en relativ luftfuktighet om 0.45 och motsvarande kondenserings eller mättnadstemperaturen är 8.7 °C.

Alla beräkningar i arbetsrapporten utgår från samma basfall som i tidigare arbetsrapporter. Basfallets data är rotorkanallängd 200 mm, rotorkanaldiameter 2 mm, godstjocklek 0.05 mm, material aluminium, lufthastighet 2 m/s, värmeövergångstal 40 W/Km^2 och varvtal 10 /min. Enda skillnaden mot tidigare basfall är ett en dubbel renblåsningsektor med sektorvinkeln 6° .

Arbetsrapportens problemställning är undersöka två sätt för fuktreglering för att hålla ett givet högsta vatteninnehåll för rumsluften och att jämföra vilket sätt som kräver minst tillsatsvärme för godtyckliga fuktillskott. Följande frågeställningar kommer att behandlas:

- Vilket är bäst att förvärma uteluft eller förvärma frånluft?
- Vilka fuktillskott kan klaras av med förvärmning?
- Hur påverkas fuktverkningsgraden av förvärmning?
- Vad blir systemets temperaturverkningsgrad vid förvärmning?
- Vad blir tilluftstemperaturen vid förvärmning?

Svaren på de fyra sista frågorna redovisas i avsnitt 2 för förvärmning av uteluft och i avsnitt 3 för förvärmning av frånluft. Beräkningar har skett för fyra fuktillstånd 5, 6, 7 och 8 g/kg och mättad uteluft. Det undersökta utetemperaturintervallet är $(-10,10)^\circ\text{C}$. Förvärmning har omfattat temperaturintervallet $(0,20)^\circ\text{C}$. Svaret på huvudfrågan ges sist i avsnitt 4.

Förvärmning av uteluft eller frånluft är ett sätt att påverka fuktöverföringen, vilket sätt som är bäst är inte självklart. Hur förvärmningen påverkar värmeväxling utan hänsyn till fukt är välkänt. Förvärmningssättet som ger högst tilluftstemperatur och högst systemverkningsgrad beror på temperaturverkningsgraden η . Systemverkningsgraden kan skrivas som följer för frånluft och uteluft som funktion av η och relativt uppvärmning $dT_r = dT / (T_f - T_u)$ samt att förvärmning är utan någon kostnad på formen:

$$\eta_f = \eta - (1 - \eta) dT_r \quad (-) \quad (1.1)$$

$$\eta_u = \eta - \eta dT_r \quad (-) \quad (1.2)$$

Båda uttrycken (1.1) och (1.2) visar att systemverkningsgraderna är lägre än temperaturverkningsgraden η , vilket beror på att förvärmningen av frånluft inte kan utnyttjas helt och att förvärmningen av uteluft minskar möjligheterna till värmeväxling. De två uttrycken (1.1) och (1.2) visar att förvärmning av frånluft är bäst om temperaturverkningsgraden $\eta > 0.5$ och förvärmning av frånluft om temperaturverkningsgraden $\eta < 0.5$. Slutsatsen är därför att förvärmning av frånluft är bäst för värmeväxling med hög temperaturverkningsgrad.

2 Förvärmning av uteluft för x_f 5-8 g/kg

Beräkningar har skett för fyra fukttillstånd 5, 6, 7 och 8 g/kg och mättad uteluft. Frånluftstemperaturen har varit 20 °C. Det undersökta utetemperaturintervallet är (-10,10) °C. Förvärmning har omfattat temperaturintervallet (0,20) °C. De fyra frågeställningar enligt nedan kommer att behandlas med fyra isodiagram i ett uppslag för varje fråga.

- Vilka fukttillskott kan klaras av ? Figur 2.1-4
- Hur påverkas fuktverkningsgraden? Figur 2.5-8
- Vad blir systemets temperaturverkningsgrad ? Figur 2.9-12
- Vad blir tilluftstemperaturen? Figur 2.13-16

Isolinjer i Figur 2.1-4 för fukttillskott visar att det krävs ökande fukttillskott för att kunna hålla höga fukttillstånd från 5 g/kg upptill 8 g/kg. Vertikala isolinjer skall tolkas som att förvärmning är onödig, eftersom fuktverkningsgraden är noll. Fukttillståndet inne är summan av fukttillståndet ute utökat med fukttillskottet. De något horisontella isolinjerna visar att det krävs endast mindre förvärmning av uteluft för att kunna klara av olika fukttillskott och att givetvis ökande fukttillskott kräver ökande förvärmning.

Isolinjer för fuktverkningsgraden i Figur 2.5-8 visar att den avtar med ökande utetemperatur och med ökande förvärmning samt att den ökar med ökande fukttillstånd från 5 g/kg upptill 8 g/kg. Område med fuktverkningsgraden noll i Figur 2.5-8 passar väl ihop med område med vertikala isolinjer för fukttillskott i Figur 2.1-4.

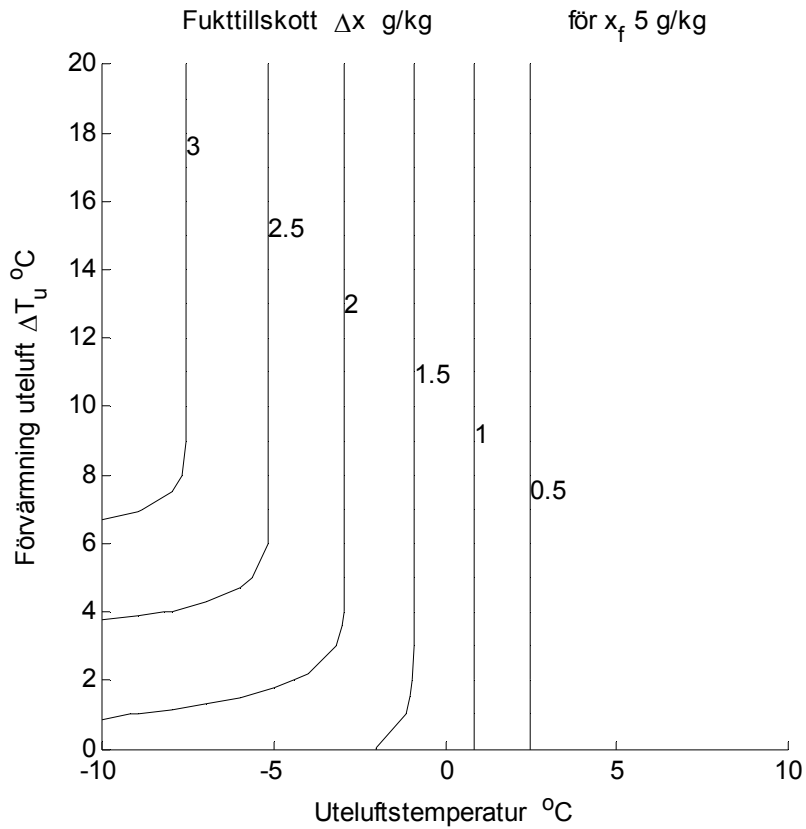
Systemverkningsgraden η_{Tu} definieras som kvoten mellan växlad värme och total värme som:

$$\eta_{Tu} = 1 - (T_f - T_{tu} + \Delta T_u) / (T_f - T_u) \quad (-) \quad (2.1)$$

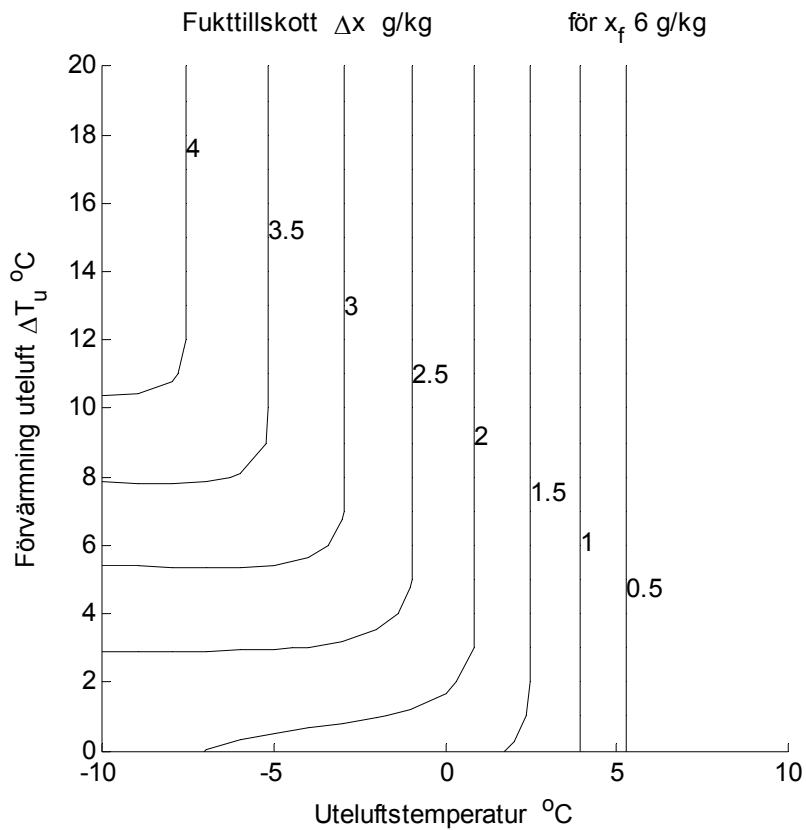
T_f	frånluftstemperatur, °C
T_{tu}	tilluftstemperatur vid förvärmad uteluft, °C
T_u	uteluftstemperatur, °C
ΔT_u	förvärmning av uteluft, °C

Isolinjer för systemverkningsgraden i Figur 2.9-12 visar att den avtar med ökande förvärmning med ökande utetemperatur. Skillnaden är liten mellan de fyra fukttillstånden 5 g/kg upptill 8 g/kg.

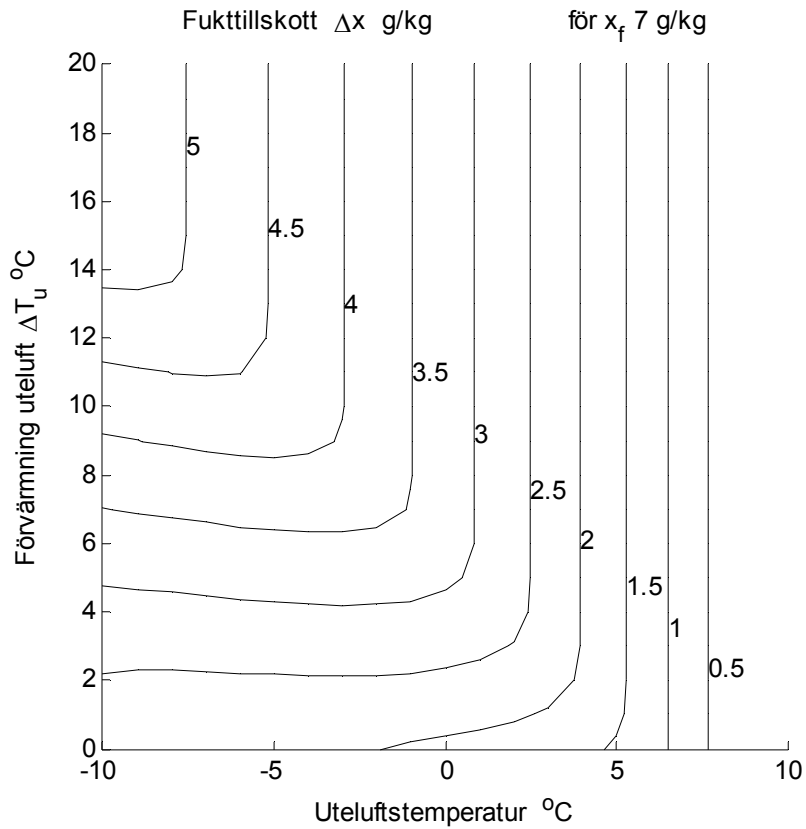
Isolinjer för tilluftstemperaturen i Figur 2.13-16 visar att den ökar med ökande förvärmning med ökande utetemperatur. Skillnaden är liten mellan de fyra fukttillstånden 5 g/kg upptill 8 g/kg. Den nödvändiga förvärmningen är liten och därmed blir också tilluftstemperaturen rimlig. Inga tilluftstemperaturer över innetemperaturen.



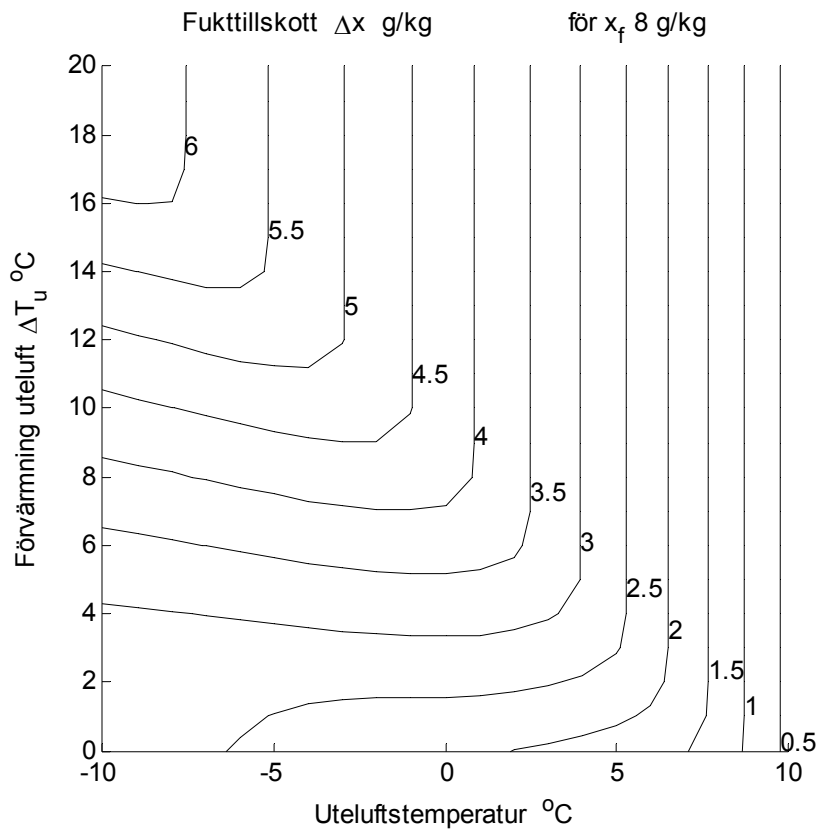
Figur 2.1 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



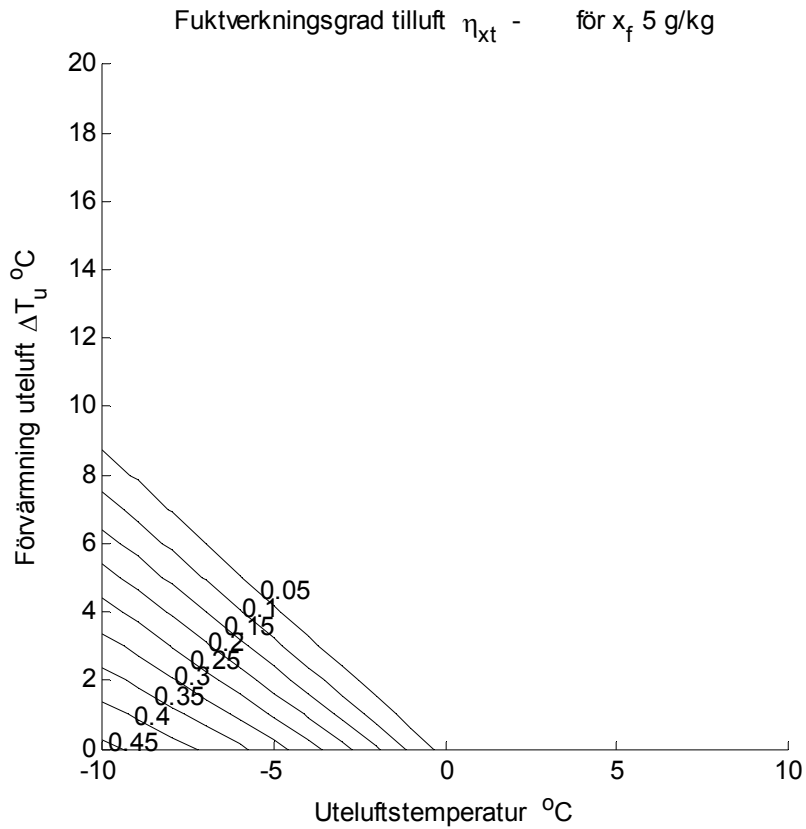
Figur 2.2 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



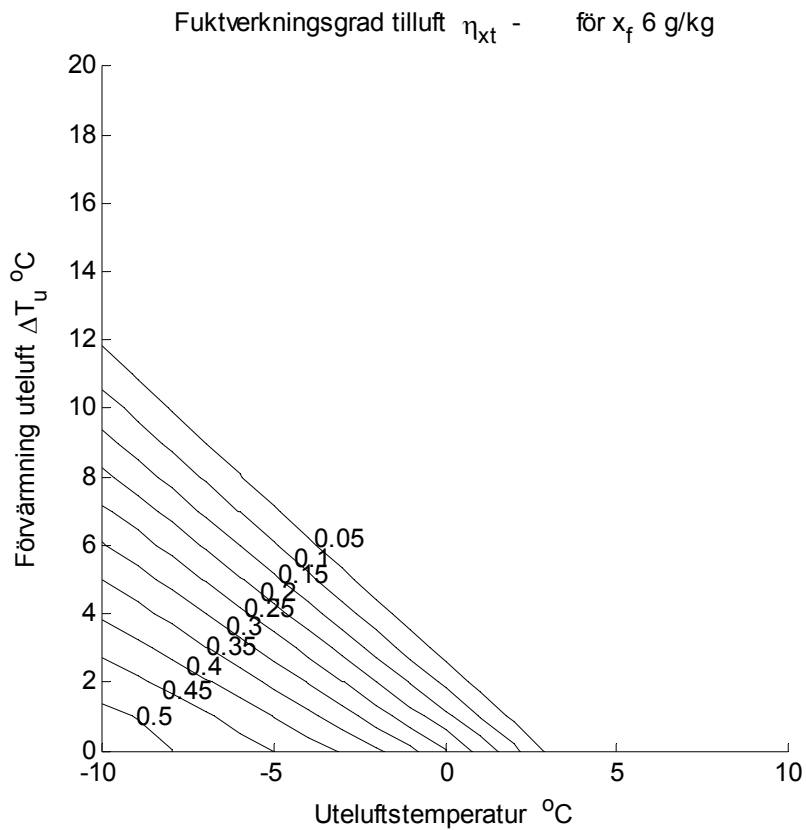
Figur 2.3 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



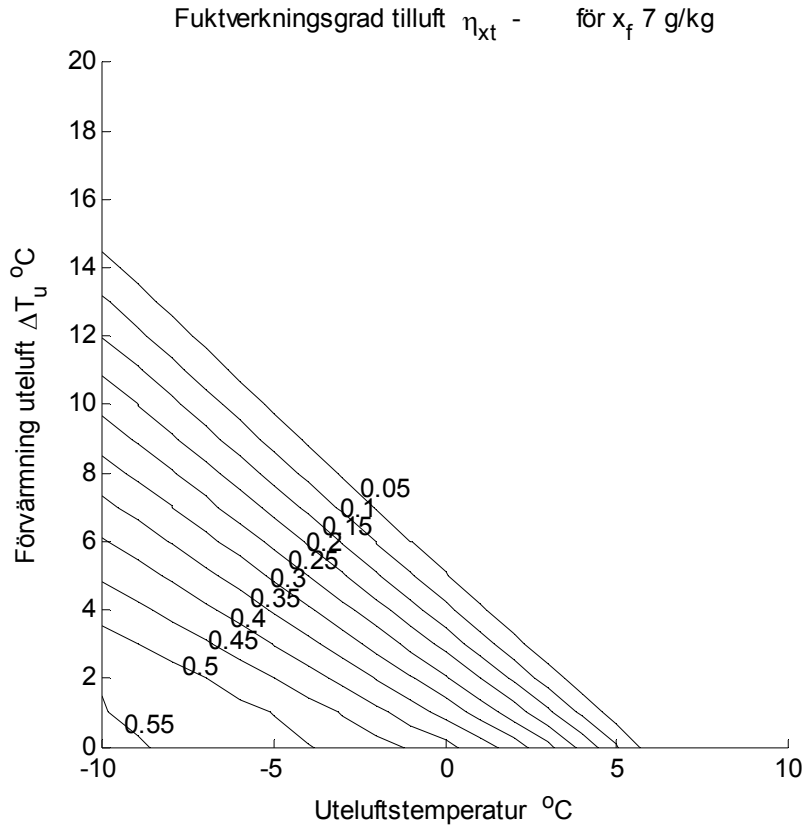
Figur 2.4 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.



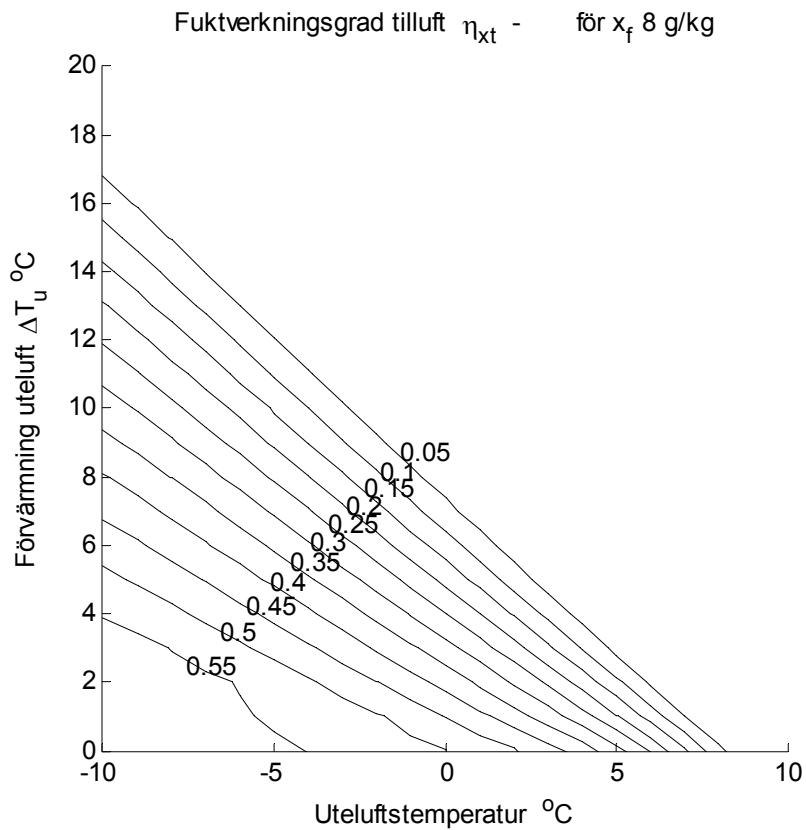
Figur 2.5 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



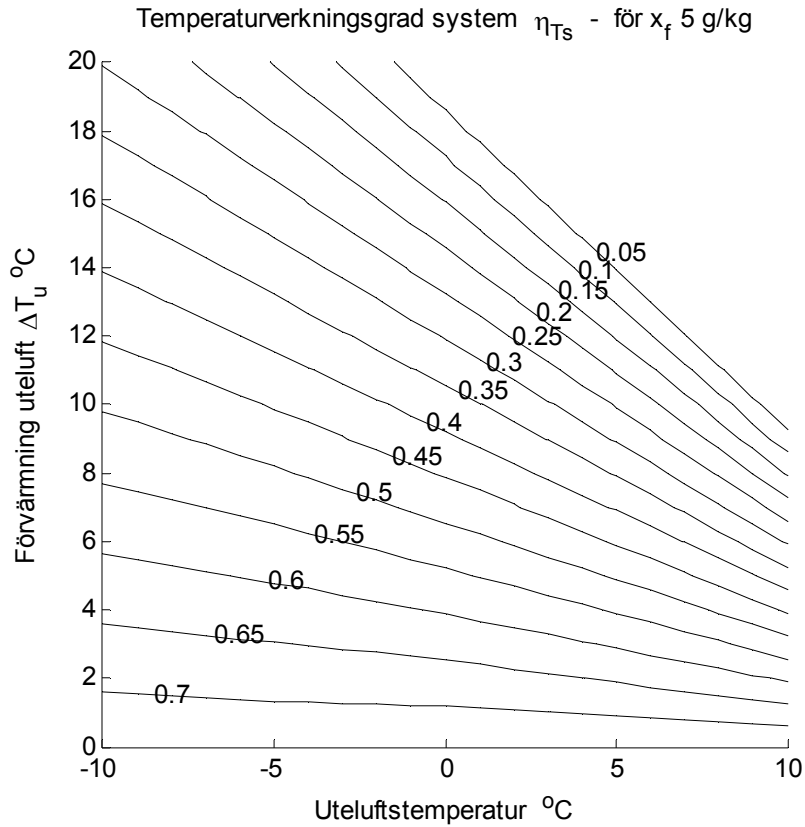
Figur 2.6 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



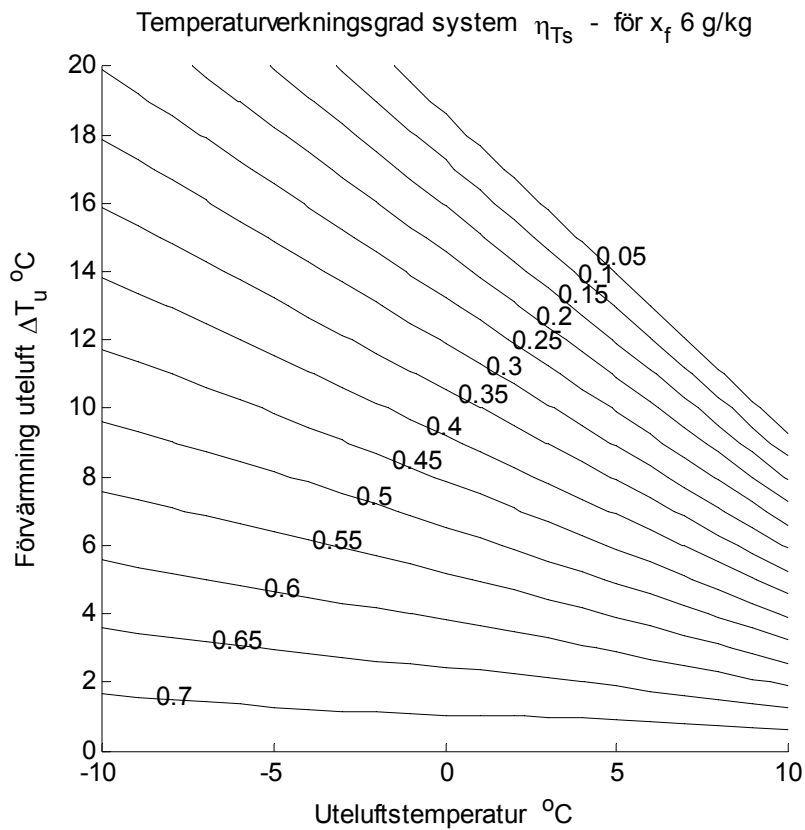
Figur 2.7 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



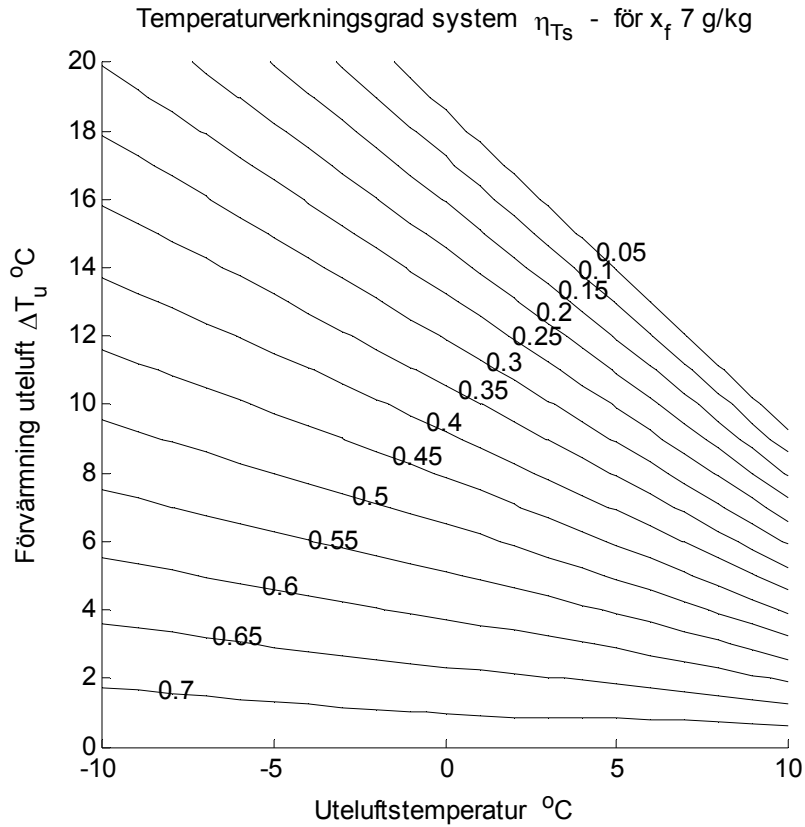
Figur 2.8 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.



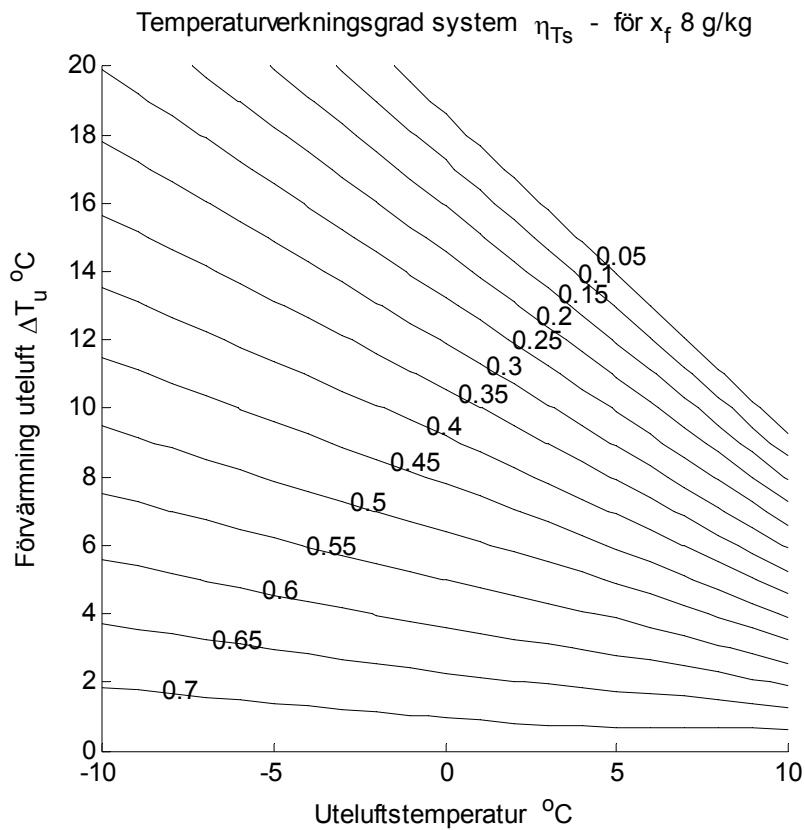
Figur 2.9 Systemverkningsgrad η_{Tu} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



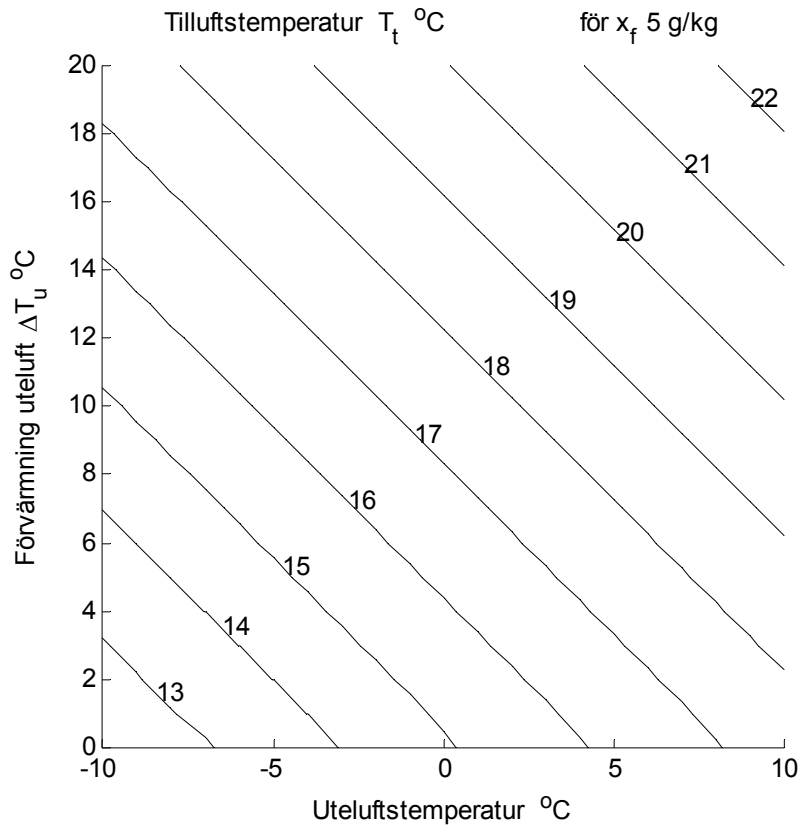
Figur 2.10 Systemverkningsgrad η_{Tu} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



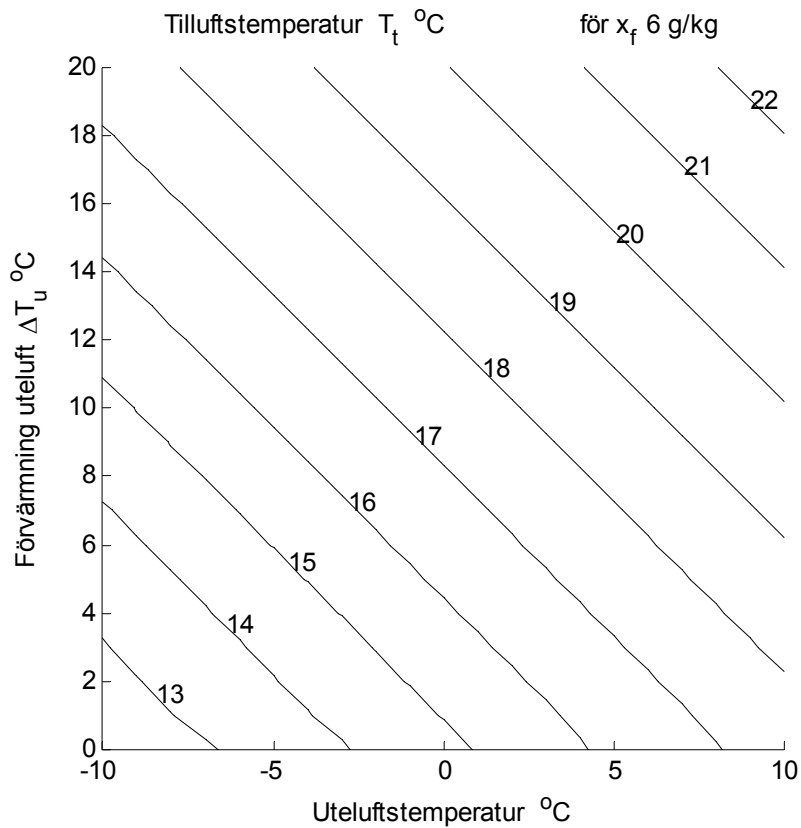
Figur 2.11 Systemverkningsgrad η_{Tu} - för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



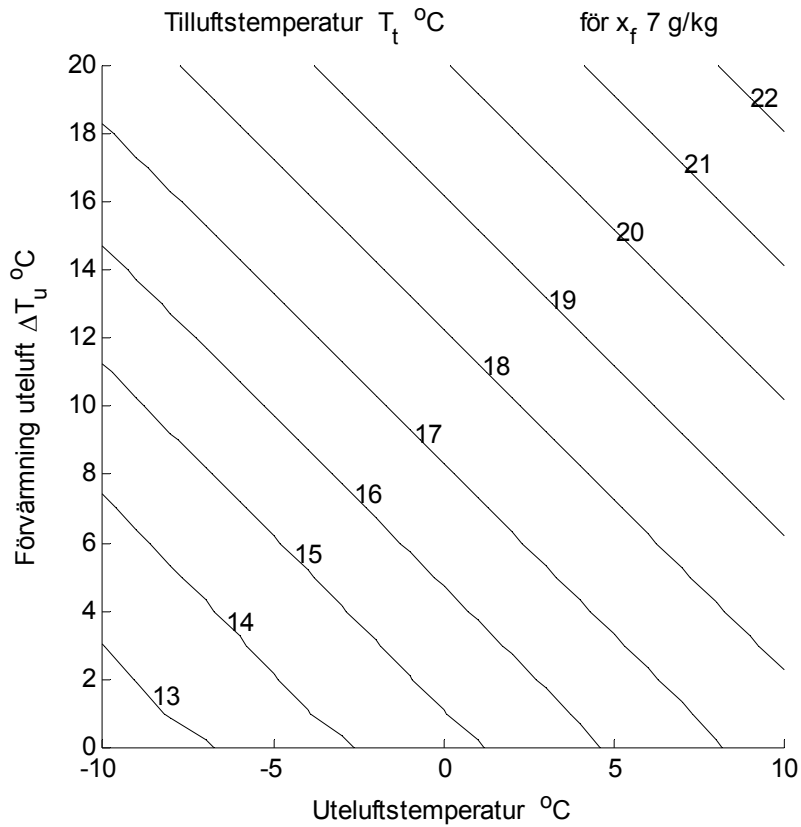
Figur 2.12 Systemverkningsgrad η_{Tu} - för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.



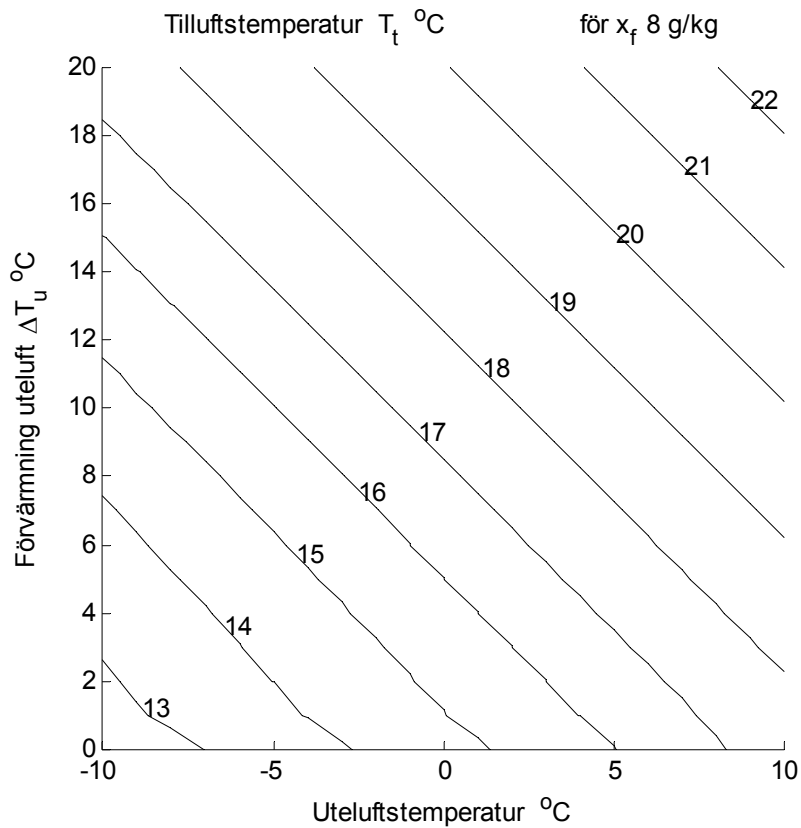
Figur 2.13 Tilluftstemperatur T_{tu} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



Figur 2.14 Tilluftstemperatur T_{tu} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



Figur 2.15 Tilluftstemperatur T_{tu} - för utetemperatur och förvärmning för 7 g/kg.



Figur 2.16 Tilluftstemperatur T_{tu} - för utetemperatur och förvärmning för 8 g/kg.

3 Förvärmning av frånluft för x_f 5-8 g/kg

Beräkningar har skett för fyra fukttillstånd 5, 6, 7 och 8 g/kg och mättad uteluft. Frånluftstemperaturen har varit 20 °C. Det undersökta utetemperaturintervallet är (-10,10) °C. Förvärmning har omfattat temperaturintervallet (0,20) °C. De fyra frågeställningar enligt nedan kommer att behandlas med fyra isodiagram i ett uppslag för varje fråga.

- Vilka fukttillskott kan klaras av ? Figur 3.1-4
- Hur påverkas fuktverkningsgraden? Figur 3.5-8
- Vad blir systemets temperaturverkningsgrad ? Figur 3.9-12
- Vad blir tilluftstemperaturen? Figur 3.13-16

Isolinjer i Figur 3.1-4 för fukttillskott visar att det krävs ökande fukttillskott för att kunna hålla höga fukttillstånd från 5 g/kg upptill 8 g/kg. Vertikala isolinjer skall tolkas som att förvärmning är onödig, eftersom fuktverkningsgraden är noll. Fukttillståndet inne är summan av fukttillståndet ute utökat med fukttillskottet. De något lutande isolinjerna visar att det krävs mer förvärmning av frånluft jämfört med motsvarande fall i Figur 2.1-4 för förvärmning med uteluft för att kunna klara av olika fukttillskott och att givetvis ökande fukttillskott kräver ökande förvärmning.

Isolinjer för fuktverkningsgraden i Figur 3.5-8 visar att den avtar med ökande utetemperatur och med ökande förvärmning samt att den ökar med ökande fukttillstånd från 5 g/kg upptill 8 g/kg. Område med fuktverkningsgraden noll i Figur 3.5-8 passar väl ihop med område med vertikala isolinjer för fukttillskott i Figur 3.1-4.

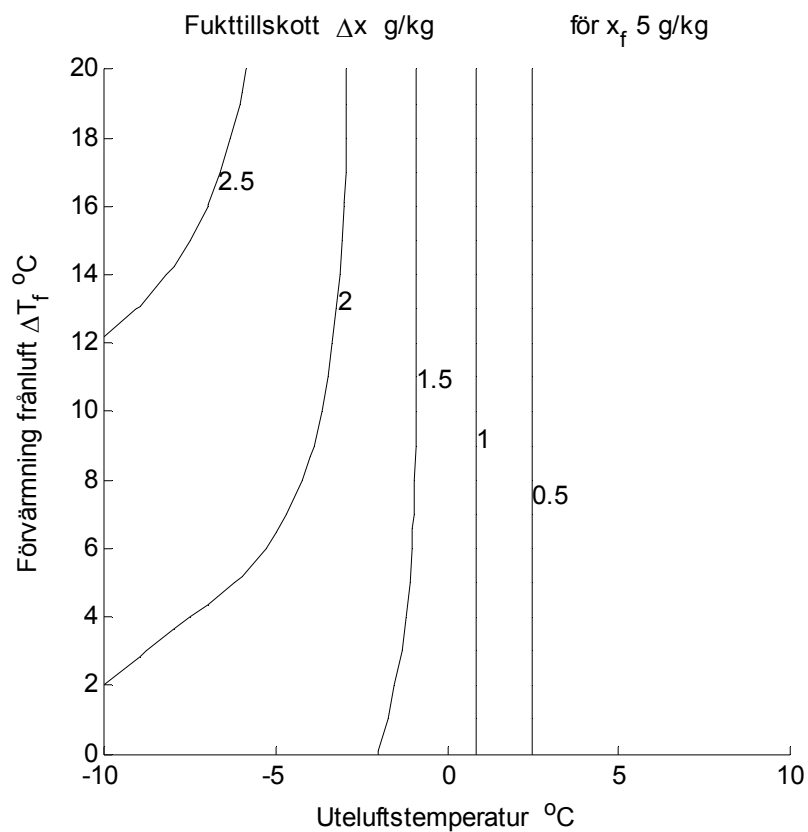
Systemverkningsgraden η_{Tf} definieras som kvoten mellan växlad värme och total värme som:

$$\eta_{Tf} = 1 - (T_f - T_{Tf} + \Delta T_f) / (T_f - T_u) \quad (-) \quad (3.1)$$

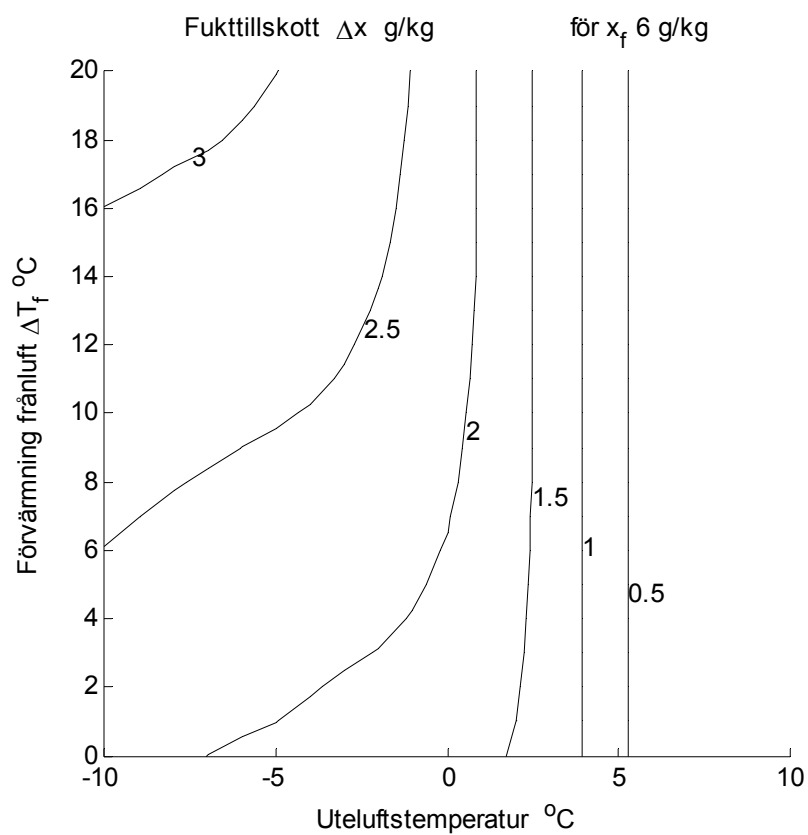
T_f	frånluftstemperatur, °C
T_{Tf}	tilluftstemperatur vid förvärmning av frånluft, °C
T_u	uteluftstemperatur, °C
ΔT_u	förvärmning av uteluft, °C

Isolinjer för systemverkningsgraden i Figur 3.9-12 visar att den avtar med ökande förvärmning med ökande utetemperatur dock något mindre än för fallet med förvärmning av uteluft. Skillnaden är liten mellan de fyra fukttillstånden 5 g/kg upptill 8 g/kg.

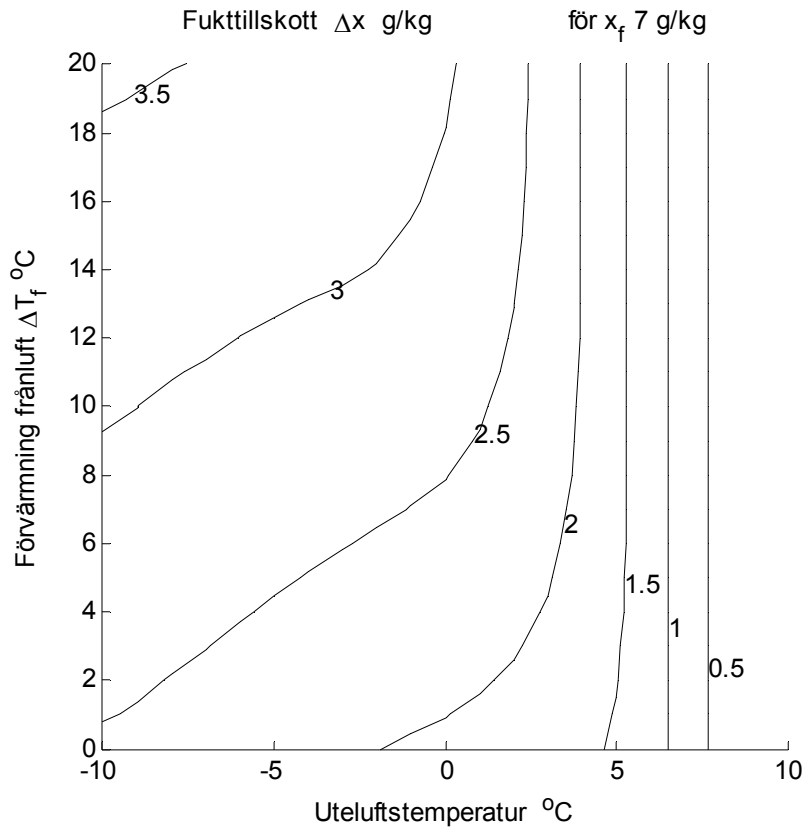
Isolinjer för tilluftstemperaturen i Figur 3.13-16 visar att den ökar betydligt med ökande förvärmning med ökande utetemperatur, vilket beror på att temperaturverkningsgraden är omkring 0.75. Skillnaden är liten mellan de fyra fukttillstånden 5 g/kg upptill 8 g/kg. Den nödvändiga förvärmningen är liten och därmed blir också tilluftstemperaturen rimlig. Inga tilluftstemperaturer över innetemperaturen.



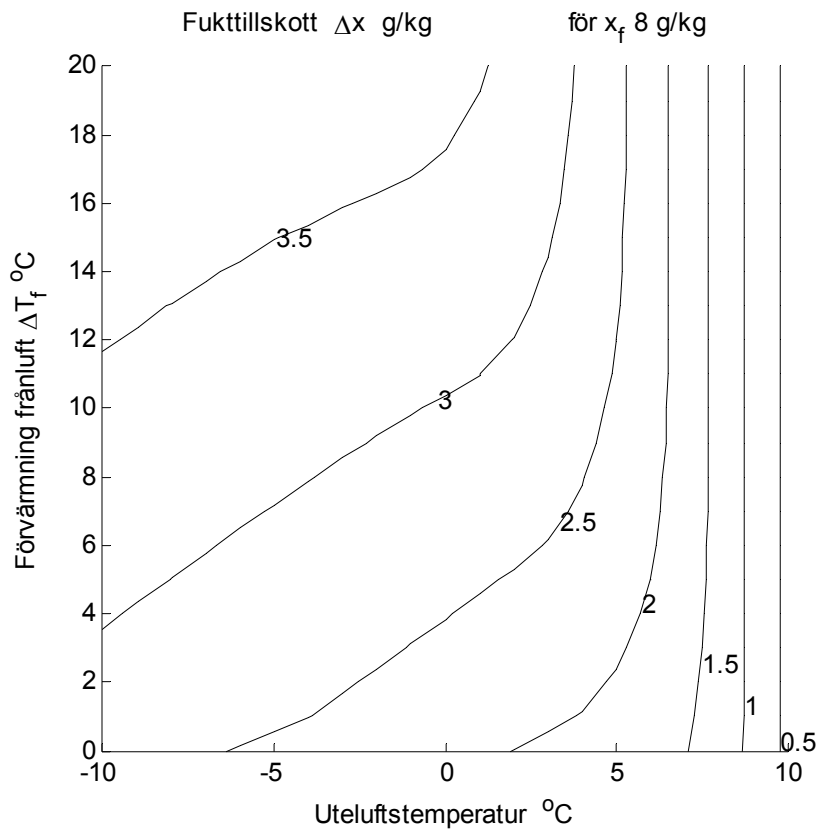
Figur 3.1 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 5 g/kg.



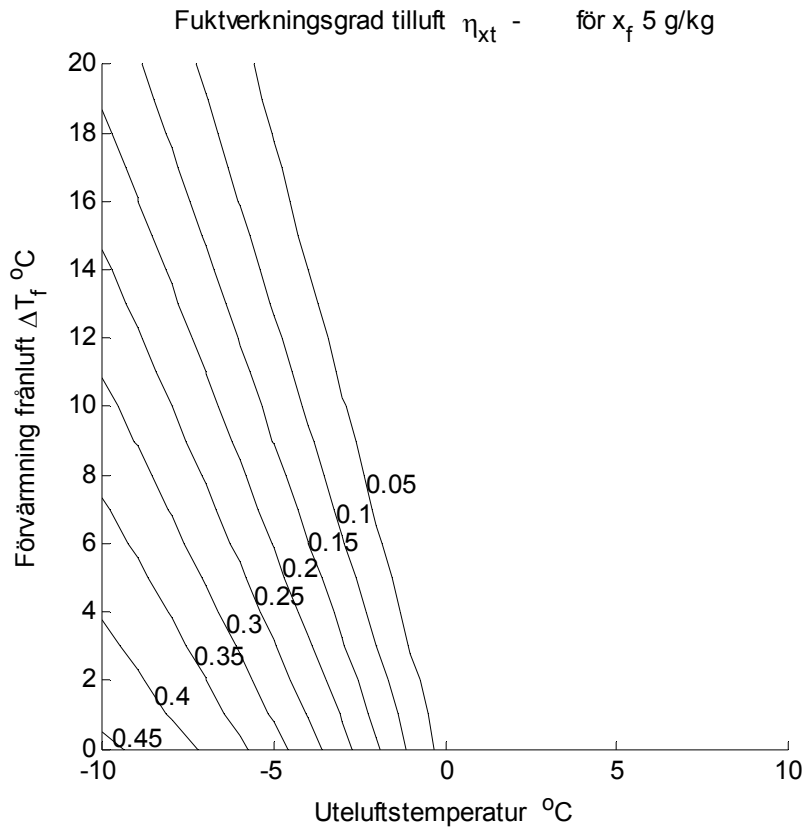
Figur 3.2 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 6 g/kg.



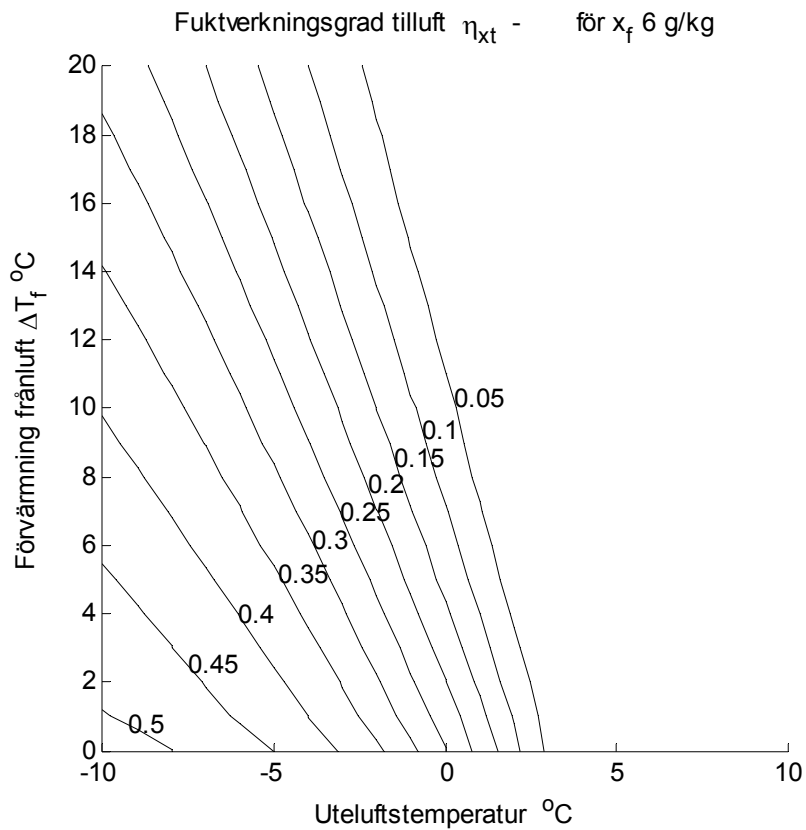
Figur 3.3 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



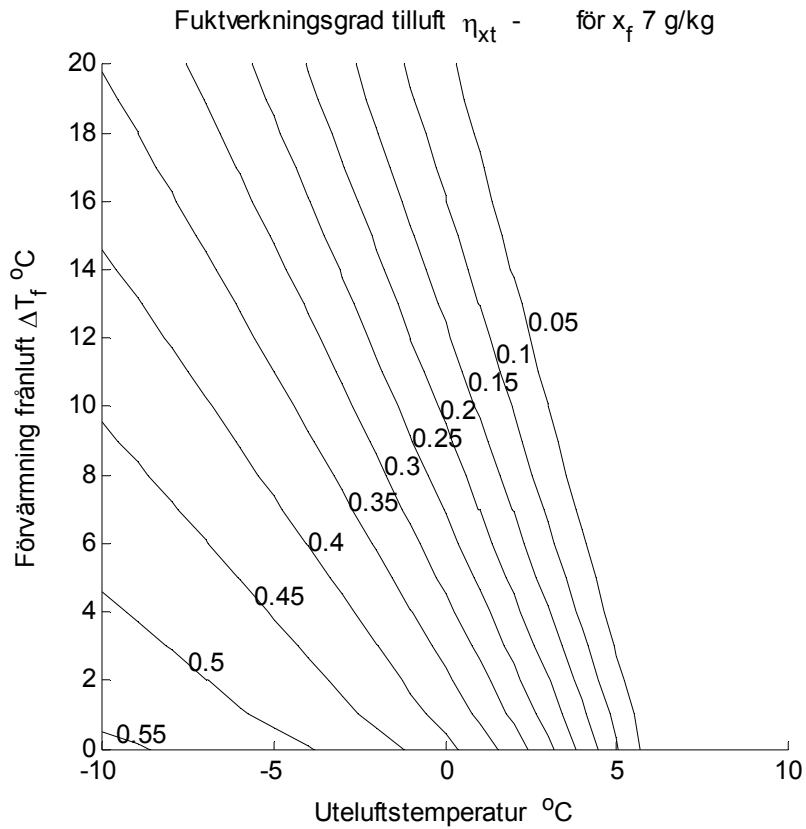
Figur 3.4 Fukttillskott g/kg för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.



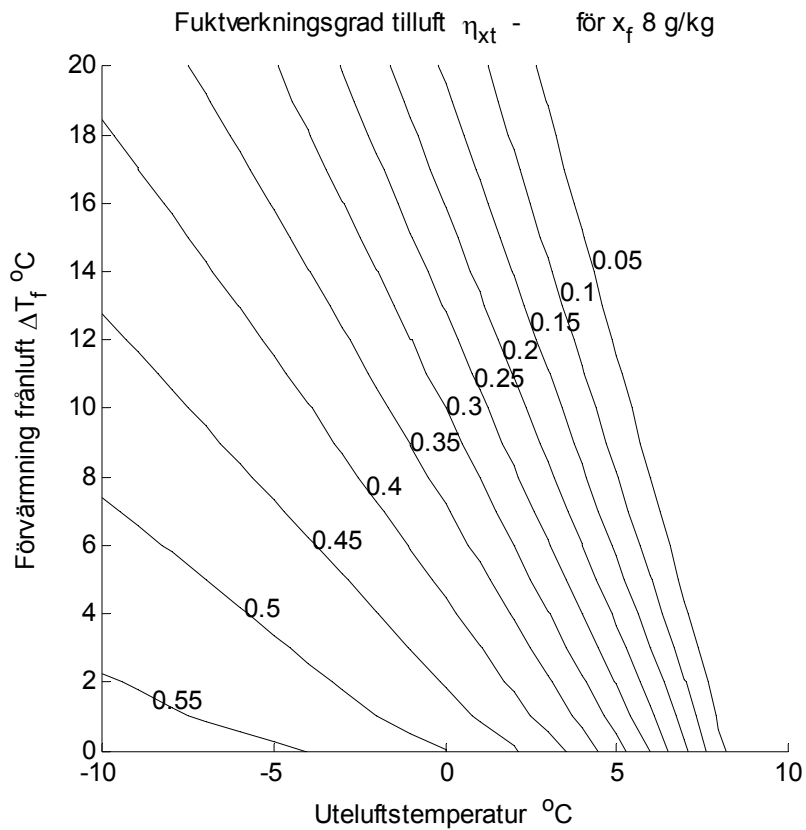
Figur 3.5 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



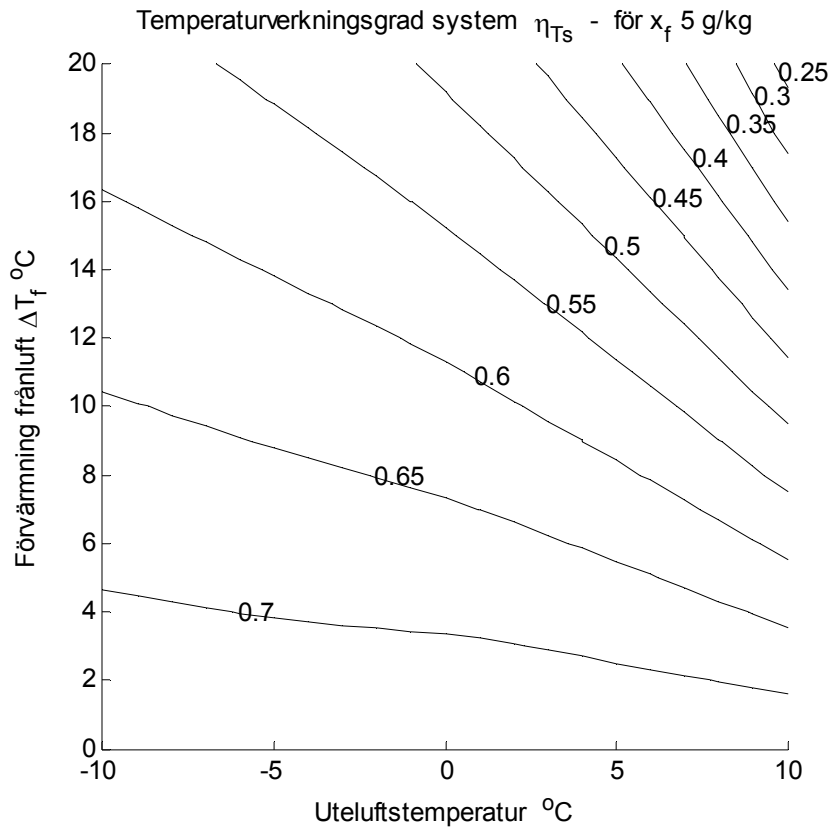
Figur 3.6 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



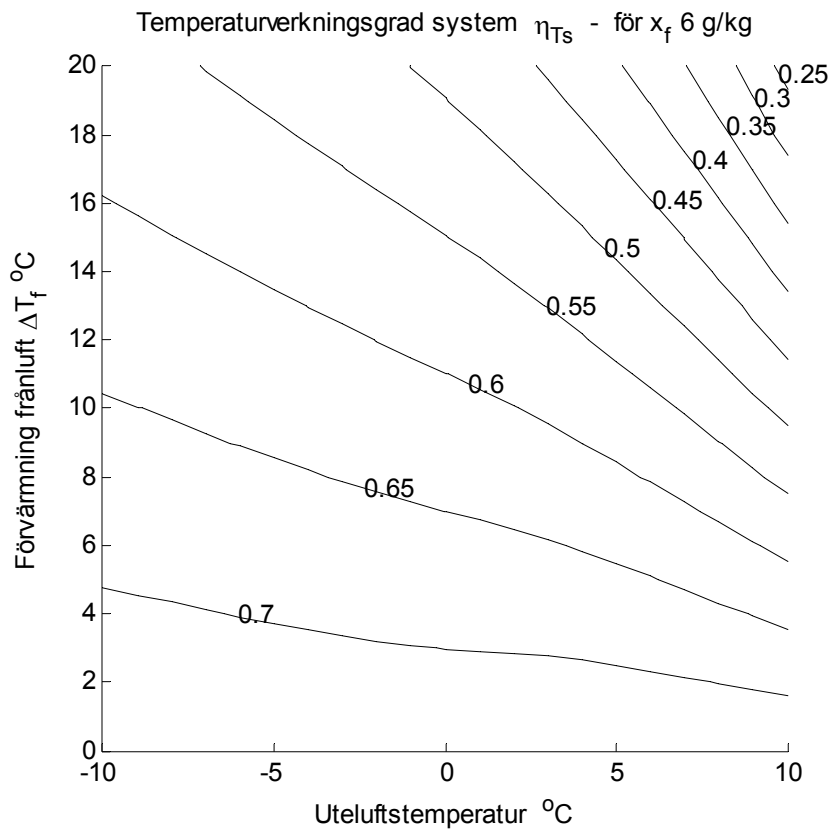
Figur 3.7 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



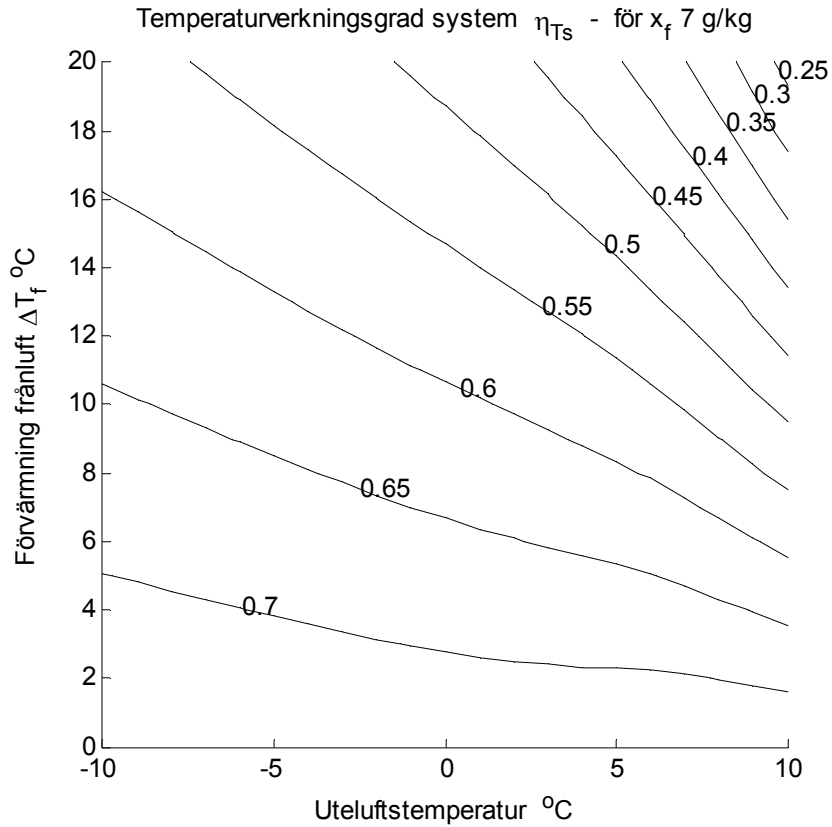
Figur 3.8 Fuktverkningsgrad η_{xt} - för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.



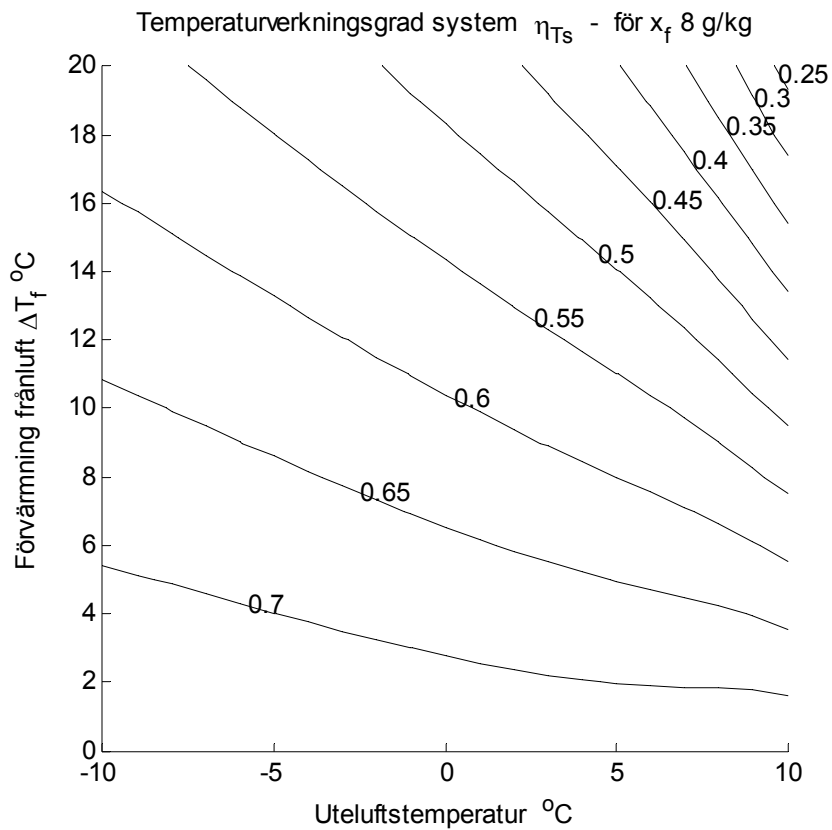
Figur 3.9 Systemverkningsgrad η_{Tf} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



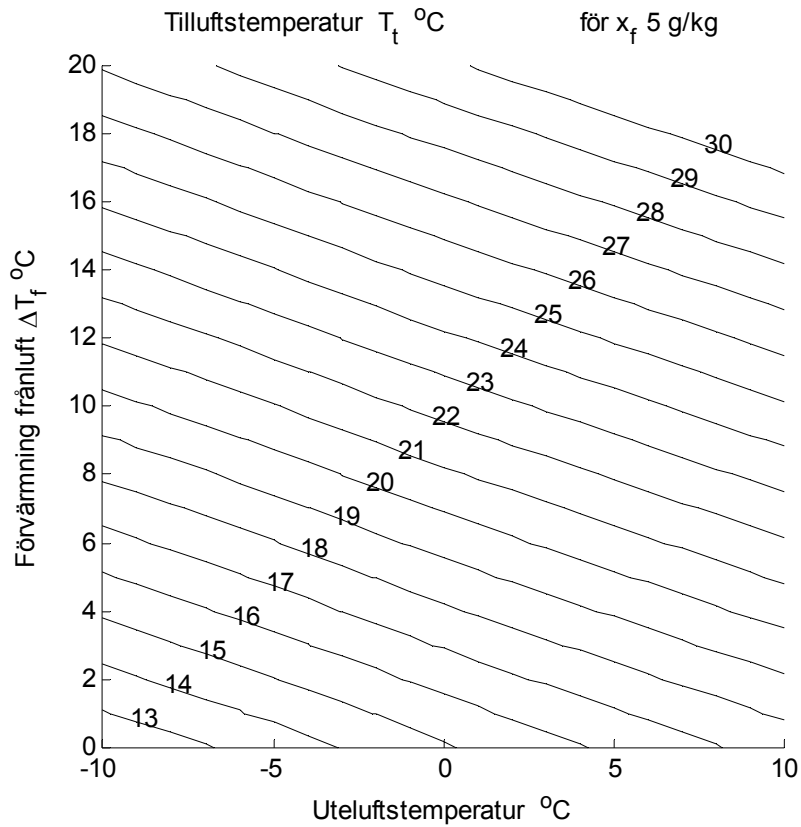
Figur 3.10 Systemverkningsgrad η_{Tf} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



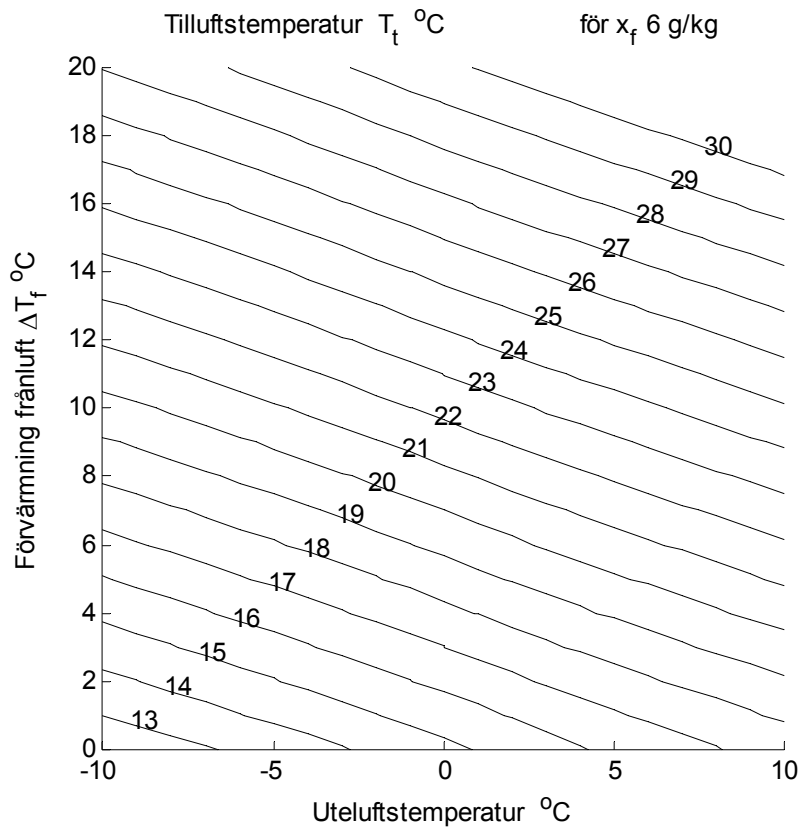
Figur 3.11 Systemverkningsgrad η_{Tf} - för utetemperatur och förvärmning för 7 g/kg.



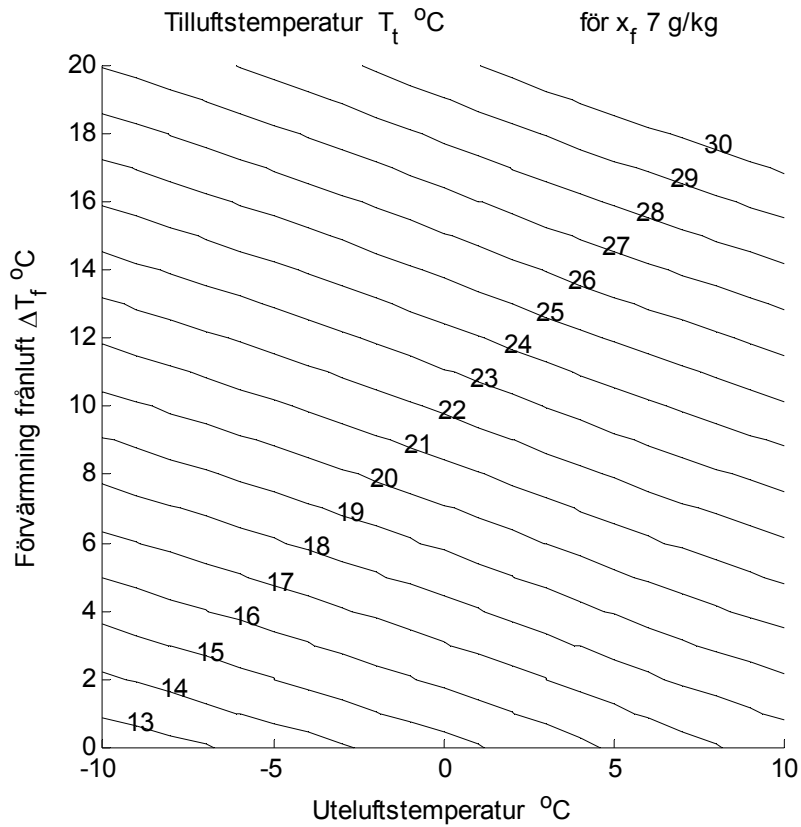
Figur 3.12 Systemverkningsgrad η_{Tf} - för utetemperatur och förvärmning för 8 g/kg.



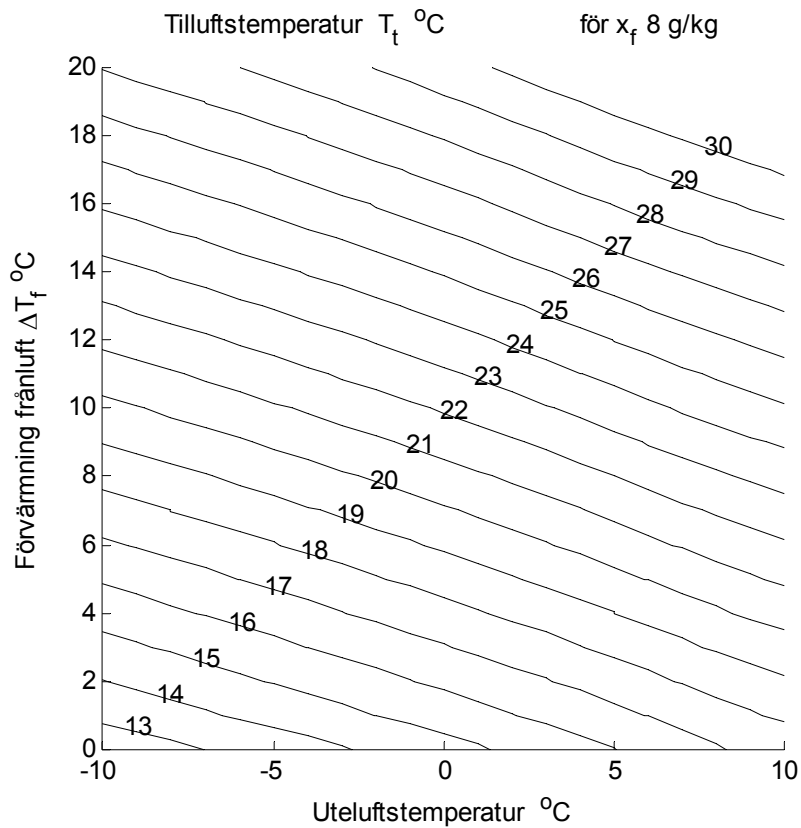
Figur 3.13 Tilluftstemperatur T_{tf} - för utetemperatur och förvärmning för 5 g/kg.



Figur 3.14 Tilluftstemperatur T_{tf} - för utetemperatur och förvärmning för 6 g/kg.



Figur 3.15 Tilluftstemperatur T_{tf} - för utetemperatur och fövärmning för 7 g/kg.



Figur 3.16 Tilluftstemperatur T_{tf} - för utetemperatur och fövärmning för 8 g/kg.

4 Avslutning och slutsatser

De redovisade isodiagrammen i Figur 2.1-4 och 3.1-4 för fuktillskott visade att det krävs mindre förvärmning av uteluft än av frånluft för att klara samma fuktillstånd.

De redovisade isodiagrammen i Figur 2.5-8 och 3.5-8 visade att fuktverkningsgrad påverkades lättare med förvärmning av uteluft än av frånluft för att klara samma fuktillstånd. Notera att fuktverkningsgraden är den samma när ingen förvärmning sker.

De redovisade isodiagrammen i Figur 2.9-12 och 3.9-12 visade att systemverkningsgraden avtar mer för förvärmning med uteluft än med frånluft. Vilken förvärmning som är bäst kan bara avgöras genom att jämföra identiska fall med samma utetemperatur, fuktillskott och fuktillstånd. Detta har gjorts med sex stickprov och resultatet redovisas i Tabell 4.1 med förvärmning av uteluft överst och av frånluft nederst. Siffrorna för systemverkningsgraden η_{Ts} visar att skillnaden mellan de två metoderna är liten. Systemverkningsgraden är lika temperaturverkningsgraden omkring 0.74 för ett fall utan förvärmning. Förvärmning med uteluft är bättre vid utetemperatur 0 °C och sämre vid utetemperatur -5 °C. Tilluftstemperaturerna blir onödigt höga för fallet med förvärmning av frånluft.

En slutsats är att de två förvärmningsfallen är lika effektiva, trots att förvärmning av frånluft är effektivast av de två när det gäller värmväxling utan hänsyn till fukt, vilket visats med uttrycken (1.1-2). Andra slutsatser är att förvärmning med uteluft sker med en mindre temperaturökning än med frånluft samt att tilluftstemperaturen är lägre för fallet med förvärmning av uteluft.

Tabell 4.1 Resultat för olika förvärmning för olika uteklimat, fuktillskott och fuktillstånd

T_u °C	Δx g/kg	x_f g/kg	ΔT_u °C	ΔT_f °C	η_{xt} -	η_{Ts} -	T_t °C	T_a °C
0.0	2.0	6.0	1.68		0.111	0.677	15.2	6.2
0.0	2.5	7.0	2.35		0.231	0.649	15.3	6.9
0.0	3.0	8.0	3.34		0.294	0.610	15.5	7.8
-5.0	2.0	6.0	0.50		0.424	0.723	13.6	1.8
-5.0	2.5	7.0	2.17		0.441	0.673	14.0	3.2
-5.0	3.0	8.0	3.69		0.452	0.627	14.4	4.4
0.0	2.0	6.0		6.55	0.111	0.656	19.7	6.6
0.0	2.5	7.0		7.87	0.231	0.635	20.6	7.1
0.0	3.0	8.0		10.36	0.294	0.601	22.4	7.8
-5.0	2.0	6.0		0.98	0.424	0.728	14.2	1.7
-5.0	2.5	7.0		4.45	0.441	0.693	16.8	2.7
-5.0	3.0	8.0		7.19	0.452	0.665	18.8	3.6