



LUND UNIVERSITY

Mer fuktreglering av regenerativ värmeväxling

Jensen, Lars

2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2010). *Mer fuktreglering av regenerativ värmeväxling*. (TVIT; Vol. TVIT-7055). 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

Mer fuktreglering av regenerativ värmeväxling

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7055



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 golvvärmsystem, 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.

Mer fuktreglering av regenerativ värmeväxling

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7055--SE(50)

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	Manuell fuktreglering	7
3	Fuktflödesreglering	13
4	Fuktreglering 7 g/kg vid 0 °C	17
5	Fuktreglering 8 g/kg vid 0 °C	21
6	Fuktreglering 9 g/kg vid 0 °C	25
7	Fuktreglering 10 g/kg vid 0 °C	29
8	Fuktöverskott	33
	Fuktverkningsgrad	35
	Fukttillskott	38
	Uppfuktningensgrad	41
	Fyllningstid	44
9	Avslutning och slutsatser	47

1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport TVIT—10/7055 är att komplementera följande arbetsrapporterna om fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling med en ren metallrotor.

- TVIT—10/7046 Regenerativ ventilationsvärmeåtervinning – Simulering av fuktillstånd med mätdata
- TVIT—10/7048 Fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling
- TVIT—10/7049 Fuktillskott i frånluft
- TVIT—10/7053 Fuktreglering av regenerativ värmeväxling

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 rotorernas varvtal varvid temperaturverkningsgraden minskar något, medan fuktverkningsgraden minskar betydligt mer. Renblåsning av rotorn är något som minskar både temperatur- och fuktverkningsgrad. Detta behandlades 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.

En manuell fuktflödesreglering för att undvika kondens beskrivs i avsnitt 2. Först bestämmer brukaren utetemperatur och relativ luftfuktighet i frånluft eller rumsluft. Nästa steg är att bestämma hur mycket flödet skall eller kan ändras för att nå kondensgränsen eller hålla en viss marginal till densamma, kan läsas av i ett diagram för en antagen rums- eller frånluftstemperatur och data för klimatskalets sämst isolerade del, vilket oftast är ett fönster.

Fuktreglering med enbart flödet redovisas med lufthastighet eller luftflöde, temperatur- och fuktverkningsgrad samt fuktfaktor i avsnitt 3 som funktion av fuktillskottet för fyra olika frånluftstillstånd med 20 °C och vatteninnehåll 7, 8, 9 eller 10 g/kg.

Fuktreglering med både varvtal och luftflöde till ett önskat vatteninnehåll 7, 8, 9 eller 10 g/kg redovisas med isodiagram för verkningsgrad för temperatur, fukt och entalpi samt fuktillskott, fuktfaktor och tillsatsvärmebehov relativt basfallet i avsnitt 4, 5, 6 respektive 7.

Erfarenheter från ett antal beräkningar är att rotorn fuktas upp. Detta undersöks i avsnitt 8 genom bland annat att beräkna tiden för att fylla en rotorkanal helt med vatten.

Avslutning och slutsatser ges i avsnitt 9.

Den här redovisade fuktregleringen görs utan hänsyn till något luftkvalitetskrav. Fallet utan fuktillskott innebär ingen ventilation. Byggnaden förutsätts vara helt tät utan någon infiltration eller exfiltration.

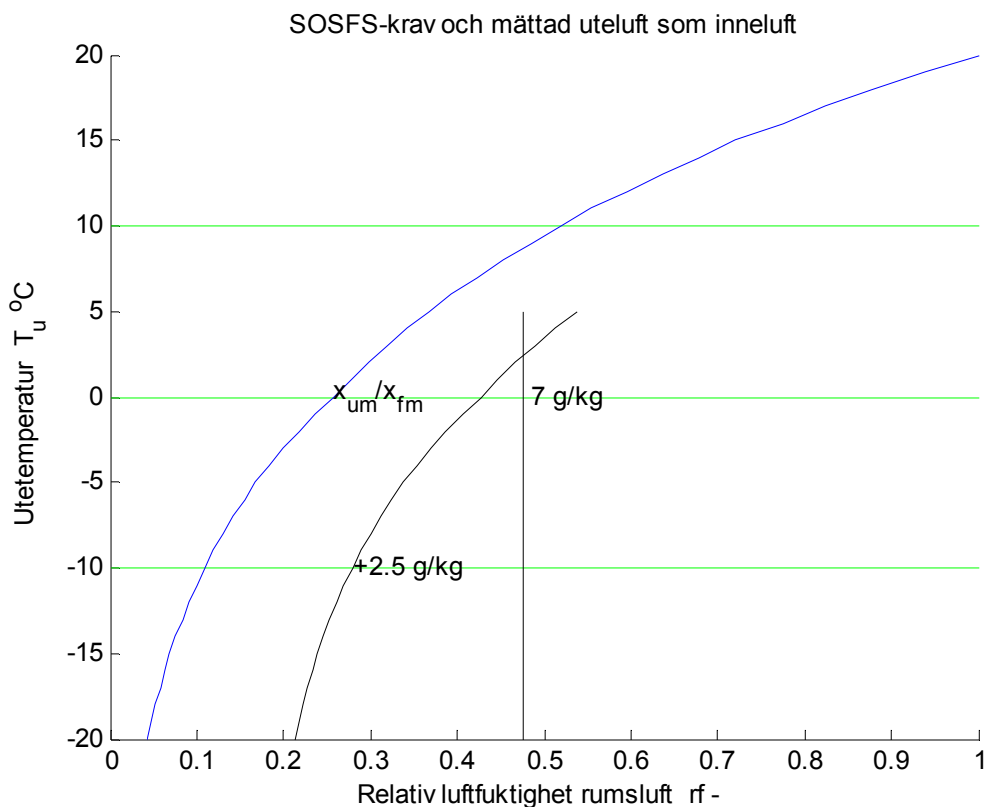
Rotormodellen har beskrivits tidigare i TVIT—10/7048. En rotorkanal i en regenerativ värmväxlare modelleras med fyra tillståndsekvationer för luftens temperatur och vatteninnehåll, rotorns temperatur och vatteninnehåll under en halv period med uteluft och en halv period med frånluft.

Alla beräkningar i arbetsrapporten utgår från samma basfall som i tidigare arbetsrapporter för en rotorvärmväxlare som beskrivs med en enda rotorkanal. Basfallets data är följande rotorkanallängd 200 mm, rotorkanaldiameter 2 mm, godstjocklek 0.05 mm, material aluminium, lufthastighet 2 m/s, värmeövergångstal 40 W/Km^2 och varvtid 6 s. Rotorkanallängd är strömningens längd, rotorns axiella längd eller djup.

Uppfuktning av rumsluft begränsas vintertid av SOSFS 1999:25 till högst 2.5 g/kg (egentligen 3 g/m^3 i texten). Det finns också ett annat krav i SOSFS 1999:21 som vintertid begränsar rumsluftens vatteninnehåll till högst 7 g/kg, vilket för temperaturen $21 \text{ }^\circ\text{C}$ motsvarar en relativ luftfuktighet om 0.45.

Mättnadstemperaturen för vatteninnehållet 7 g/kg är $8.7 \text{ }^\circ\text{C}$ och kondensering sker på inre ytor med lägre temperatur. Den relativa luftfuktigheten vid 7 g/kg är 0.48, 0.42 och 0.37 för rumstemperaturerna 20, 22 respektive $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

De två kraven har ritats in i Figur 1.1 tillsammans med en linje för mättad utelufts relativa luftfuktighet vid uppvärmning till rumstemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Uteluften är vintertid ofast nästan helt mättad. En enkel slutsats är att kravet på uppfuktning med högst 2.5 g/kg gör det absoluta kravet på högst 7 g/kg överflödigt.



Figur 1.1 SOSFS-krav för rumsluftens fukthalt och mättad uteluft som inneluft.

2 Manuell fuktreglering

Principen är enkel genom att använda ett lämpligt diagram för att bestämma ventilationens pådrag (flöde) med utetemperatur och relativ luftfuktighet i frånluft som indata. Hur mycket den rådande ventilationen skall ändras beror på hur stor uppfuktningen är i förhållande till den kritiska uppfuktningen som resulterar i kondens. Om kvoten mellan rådande uppfuktning och kritisk uppfuktning har värdet q kan det rådande ventilationsflödet ändras en faktor q . Ingen kondens om $q < 1$. Gränsfallet är $q = 1$.

Denna styrande kvot q kan beräknas genom att bestämma rumsluftens vatteninnehåll x_f , uteluftens vatteninnehåll x_u och vatteninnehåll för kondens x_k på den kallaste inre ytan, vars temperatur beror på både ute- och innetemperatur. De tre vatteninnehållen beräknas som följer nedan där $x_m(\cdot)$ är mättad lufts vatteninnehåll som funktion av temperaturen.

Rumsluftens vatteninnehåll x_f skattas med antagen innetemperatur T_f och mätt relativ luftfuktighet rf_f .

$$x_f = rf_f x_m(T_f) \quad (\text{g/kg}) \quad (2.1)$$

Uteluftens vatteninnehåll x_u skattas med mätt utetemperatur T_u och antagande om fullständigt mättad uteluft med relativ luftfuktighet $rf_u = 1$.

$$x_u = rf_u x_m(T_u) \quad (\text{g/kg}) \quad (2.2)$$

Kritisk invändig ytemperatur T_k och motsvarande vatteninnehåll x_k skattas som en linjär funktion av antagen innetemperatur T_f och mätt utetemperatur T_u med en byggnadsberoende konstant k på formen:

$$T_k = k T_f + (1 - k) T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.3)$$

$$x_k = x_m(T_k) \quad (\text{g/kg}) \quad (2.4)$$

Konstanten k kan beräknas för alla byggnadskonstruktioner med givet U-värden U och ett inre värmeövergångsmotstånd $m_i = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ som är standard. Uttrycket kan skrivas som:

$$k = 1 - U m_i \quad (-) \quad (2.5)$$

Kvoten mellan den aktuella uppfuktningen ($x_f - x_u$) och den kritiska uppfuktningen ($x_k - x_u$) kan tolkas som ett möjligt relativt ventilationsflöde q i förhållande till det rådande flödet och beräknas som:

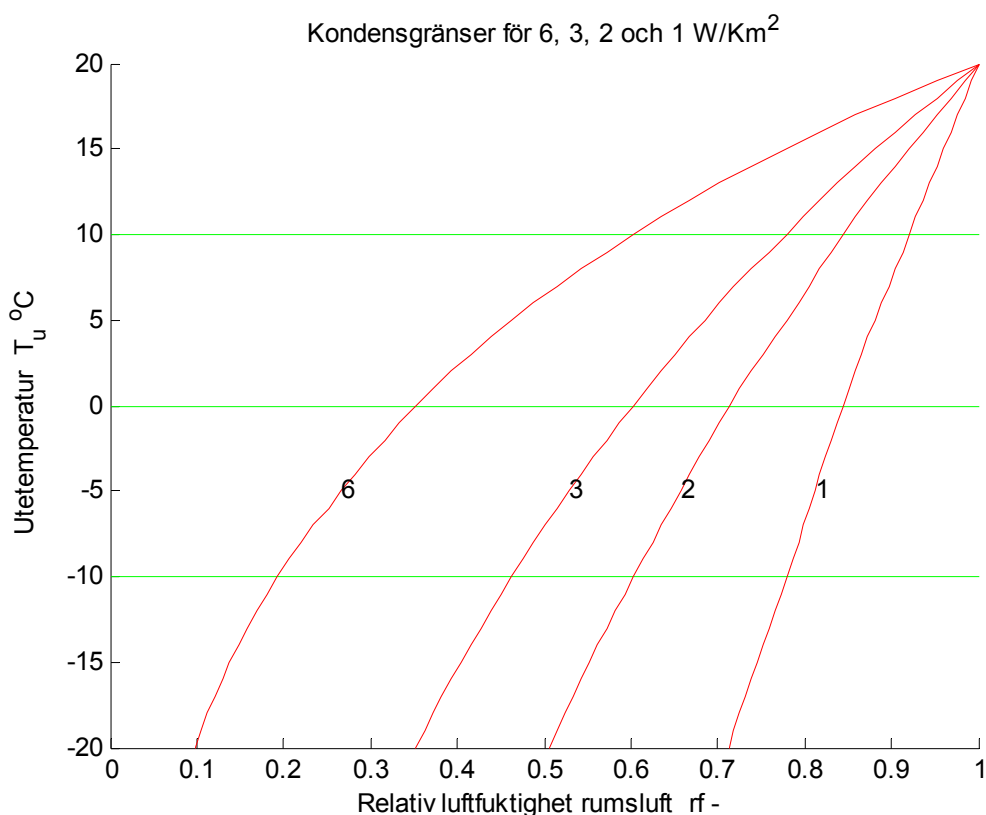
$$q = (x_f - x_u) / (x_k - x_u) \quad (-) \quad (2.6)$$

När kondens inträffar eller gränsen för kondens kan beräknas med uttrycken (2.1-6). Detta har gjorts för U-värden 1, 2, 3 och 6 W/Km². De fyra kondensgränserna redovisas i Figur 2.1. Siffervärdena 2, 3 och 6 W/Km² motsvarar normala fönster med 3, 2 respektive 1 glas. En oisolerad luftkanal med uteluft kan jämföras med ettglasfönster. Isolerade väggar med 100 mm isolering eller mer har U-värden mindre än 0.5. Parameter k blir för de fyra fallen 0.87, 0.74, 0.61 respektive 0.22.

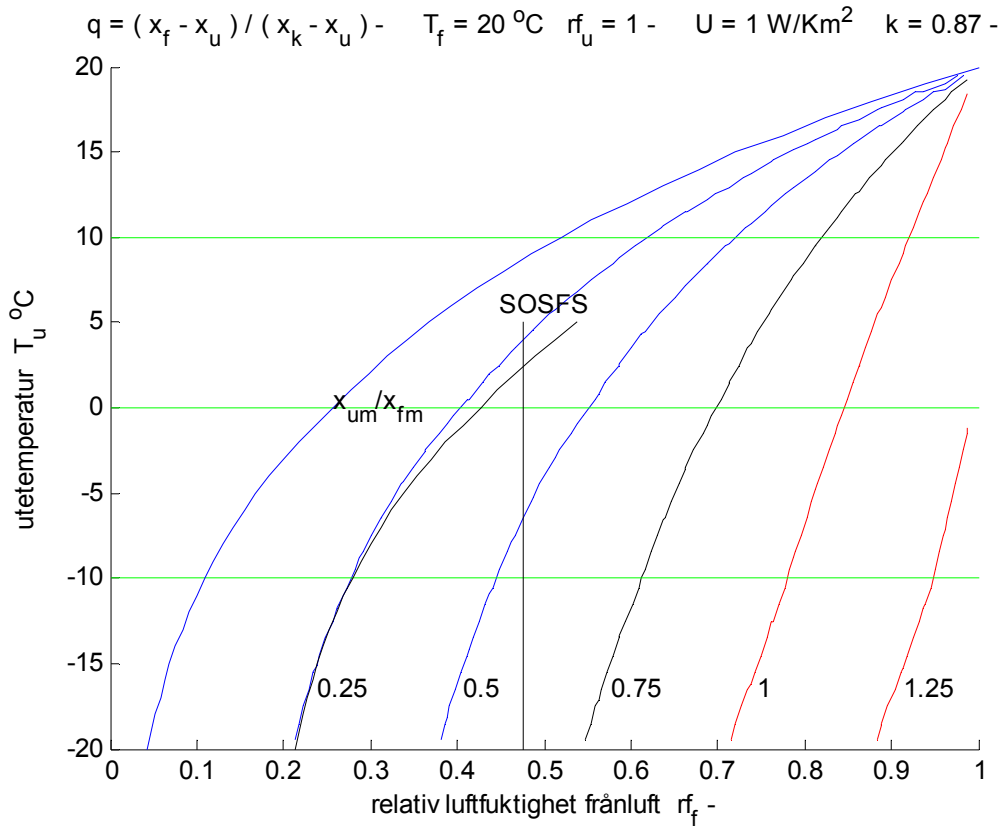
Fyra diagram redovisas i Figur 2.2-5 för relativt ventilationsflöde q enligt (2.6) med isolinjerna 0.5, 0.75, 1, 1.25 och 1.5 som funktion av relativ luftfuktighet i frånluft och utetemperatur för given rumslufttemperatur 20 °C och U-värden 1, 2, 3 och 6 W/Km². Några kommentarer till Figur 2.2-5 är att ventilationen kan minskas till en fjärdedel om uppfuktningen är högst 2.5 g/kg för U-värdet 1 W/Km², kan halveras för U-värdet 2 W/Km² och bebehållas för U-värdet 3 W/Km². En uppskattning är att uppfuktningen måste vara mindre än 1 g/kg om kondens skall kunna undvikas för U-värdet 6 W/Km².

Ventilationen kan ändras med en faktor lika med det relativa ventilationsflödet q för att nå gränslinjen för kondens. En brukarhandledning för Figur 2.2-5 är följande:

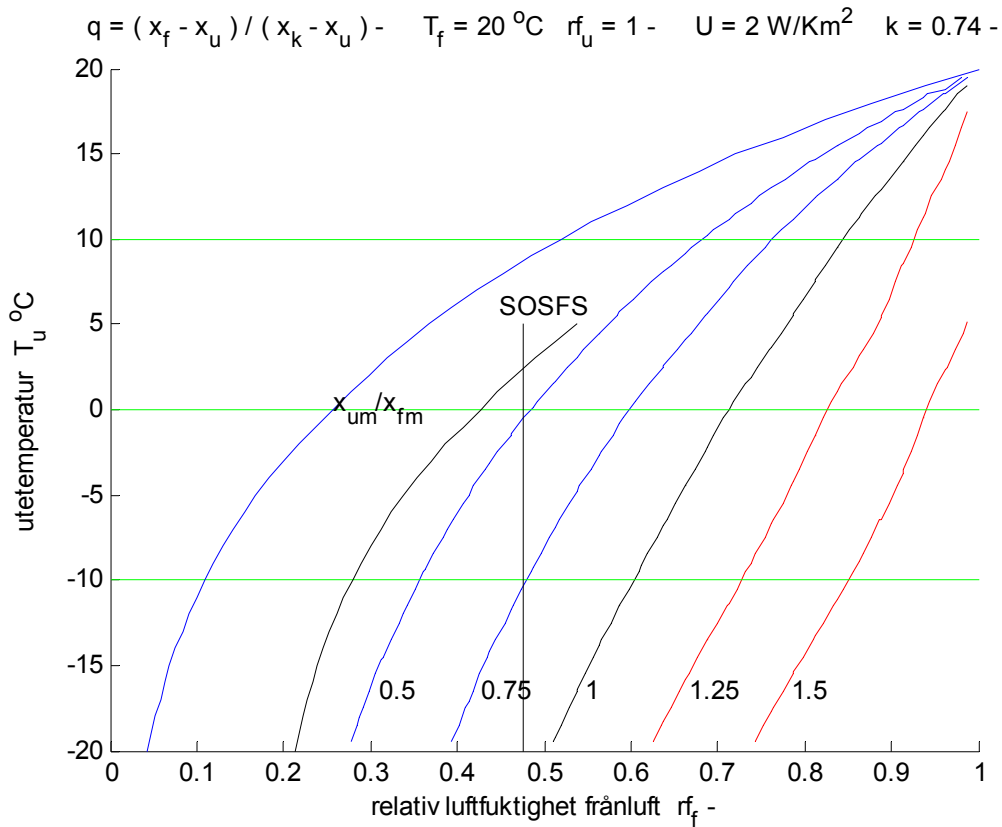
- Bestäm vilken Figur 2.2-5 som gäller efter byggnadens sämsta U-värde.
- Bestäm utetemperatur och relativ luftfuktighet för rumsluft eller aggregatfrånluft.
- Finn motsvarande punkt i diagrammet som anger flöde relativt nuvarande flöde.
- Ändra ventilationen med en faktor m/q med en kondensmarginalfaktor $m < 1$.



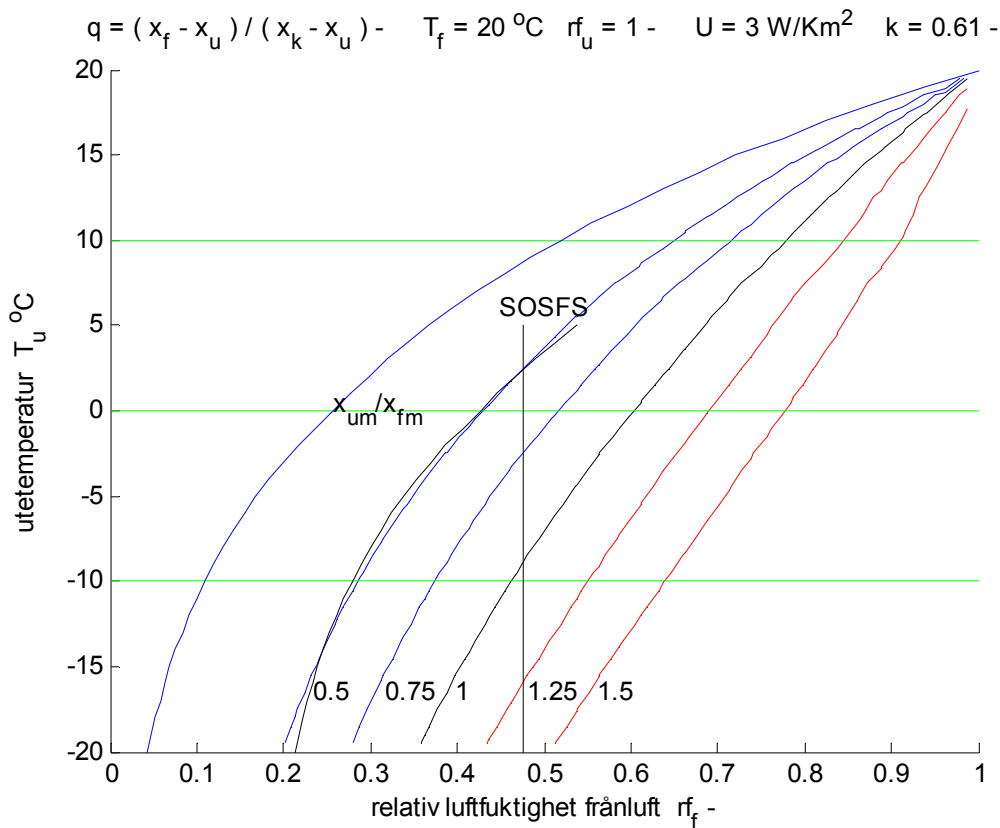
Figur 2.1 Kondensgränser för U-värdena 1, 2, 3 och 6 W/Km².



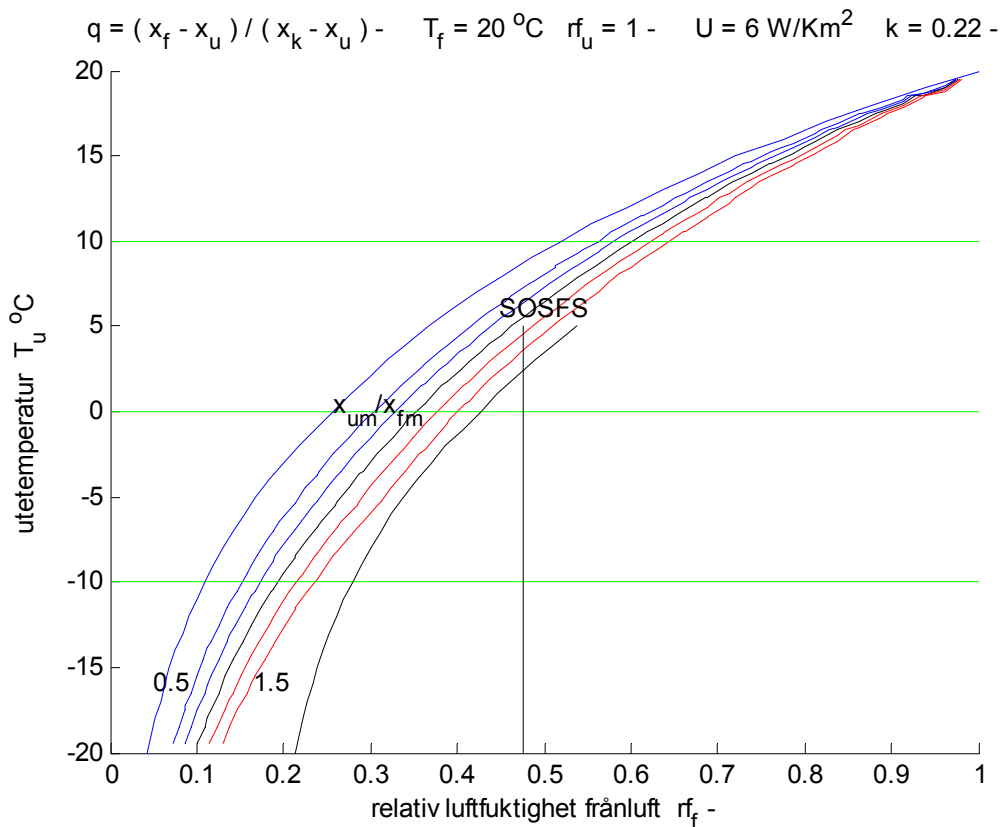
Figur 2.2 Flödesreduktion för utetemperatur, relativ luftfuktighet inne och $U = 1 \text{ W/Km}^2$.



Figur 2.3 Flödesreduktion för utetemperatur, relativ luftfuktighet inne och $U = 2 \text{ W/Km}^2$.



Figur 2.4 Flödesreduktion för utetemperatur, relativ luftfuktighet inne och $U = 3\text{ W/Km}^2$.



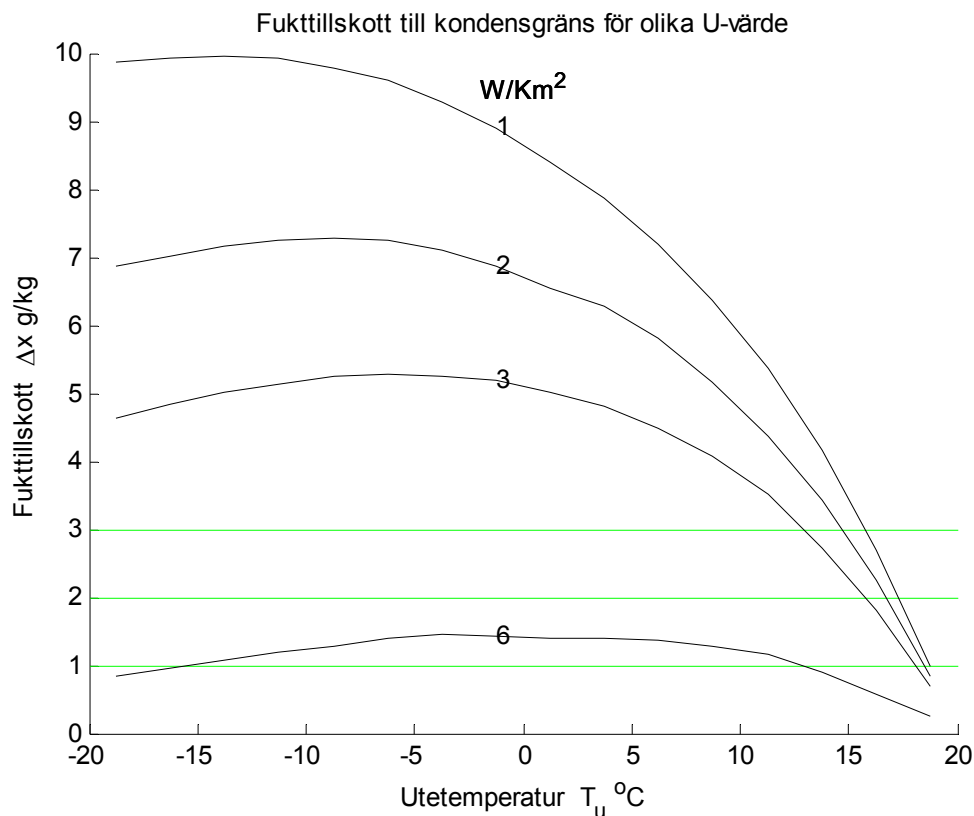
Figur 2.5 Flödesreduktion för utetemperatur, relativ luftfuktighet inne och $U = 6\text{ W/Km}^2$.

Kondensrisken för en given byggnadskonstruktion bestämmer hur stora fukttillskott som kan tillåtas. Det maximalt tillåtna fukttillskottet har beräknats utgående från mättad uteluft, vilket är sämsta fallet, och en given innetemperatur 20 °C och för samma fyra U-värden 1, 2, 3 och 6 W/Km² och redovisas i Figur 2.6 tillsammans med tre linjer för normala fukttillskott 1, 2 och 3 g/kg.

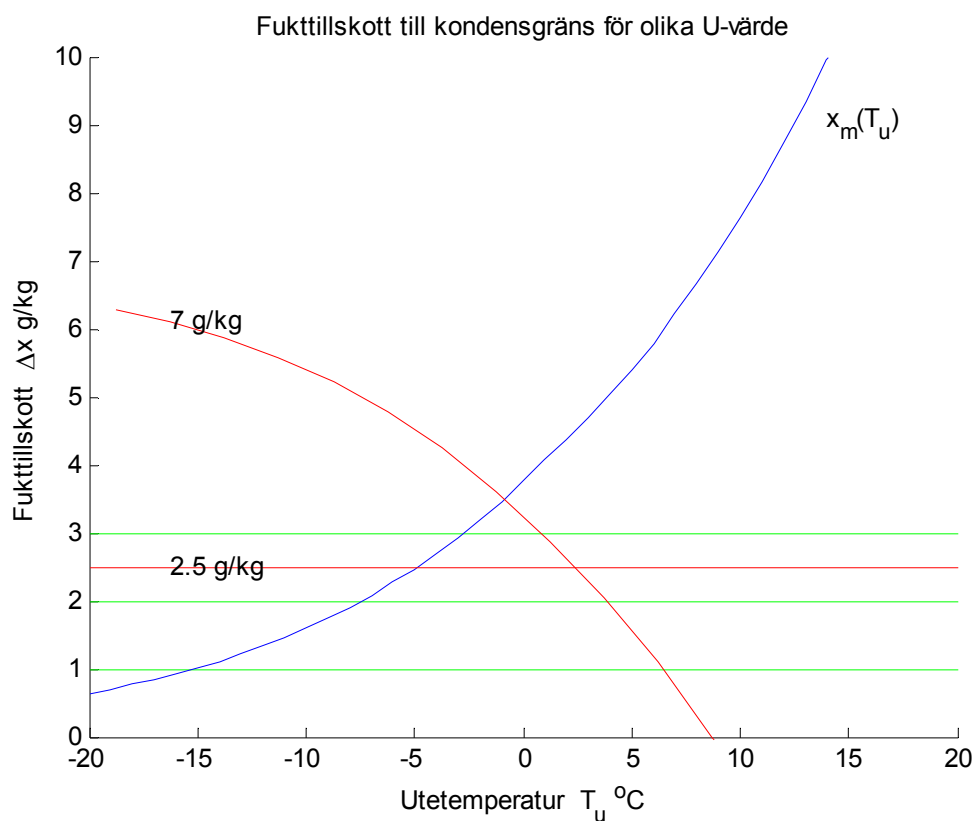
Kurvorna i Figur 2.6 visar att ettglasfönster med U-värdet 6 W/Km² tillåter endast små fukttillskott klart under 2 g/kg, medan normala tvåglasfönster och treglasfönster med U-värdena 3 respektive 2 W/Km² klarar fukttillskott över 3 g/kg för utetemperaturer under 12 °C.

Kurvorna för utetemperaturer över 12 °C visar att endast mindre fukttillskott kan klaras av, men detta är missvisande eftersom uteluften antas var mättad för alla utetemperaturer. Den relativa luftfuktigheten för uteluft avtar för temperaturer över 10 °C.

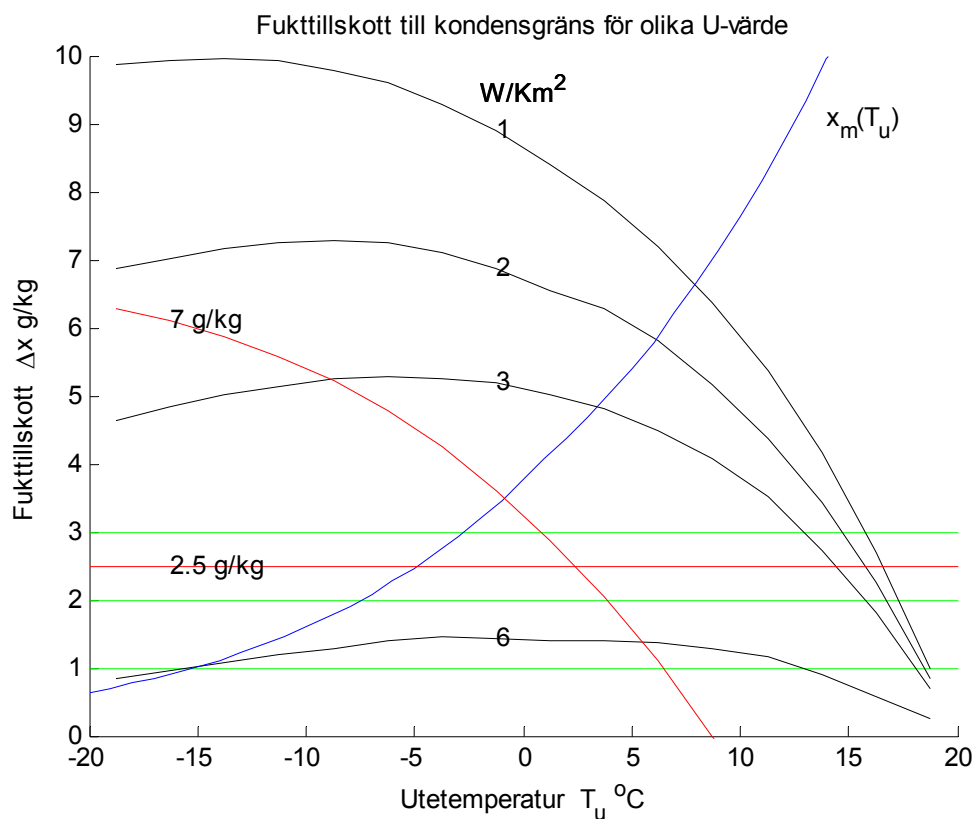
Kondensgränskurvorna i Figur 2.6 kan jämföras med SOSFS-kravet med högst 2.5 g/kg i fukttillskott och högst 7 g/kg i vatteninnehåll samt mättad utelufts vatteninnehåll, vilka redovisas för sig i Figur 2.7 och gemensamt med kondenskurvorna från Figur 2.6 i Figur 2.8.



Figur 2.6 Maximalt möjligt fukttillskott som funktion av utetemperaturen och olika U-värden.



Figur 2.7 SOSFS-gränser för fukttillskott och uppfuktning samt mättad lufts vatteninnehåll.



Figur 2.8 Konstruktionsberoende fukttillskott, SOSFS-gränser och mättad uteluft.

3 Fuktflödesreglering

Ett alternativ till varvtalsstyrning är flödesreglering, som har en stor fördel genom att det relativa fukttillskottet g/kg påverkas direkt av flödet. Ett fördubblat flöde halverar det relativa fukttillskottet. Fuktfaktorn kan med korrektion för det relativa flödet q skrivas som:

$$f = 1 / (1 + p - k \eta_x) q \quad (-) \quad (3.1)$$

där

p	parallellflöde relativt frånluftsflödet
k	tilluftsflöde relativt frånluftsflödet
q	aktuellt frånluftflöde relativt basfallets frånluftflöde

En viktig förutsättning är att fukttillskottet Δx är normaliserat mot basfallet flöde. En alternativ formel är att ersätta Δx med $\Delta X / q$, där ΔX är lika med det absoluta fukttillskottet till rumsluften. Fuktfaktorn f kan förenklas för det ideala fallet utan parallellflöde $p = 0$ och lika tilluftsflöde och frånluftsflöde $k = 1$ till:

$$f = 1 / (1 - \eta_x) q \quad (-) \quad (3.2)$$

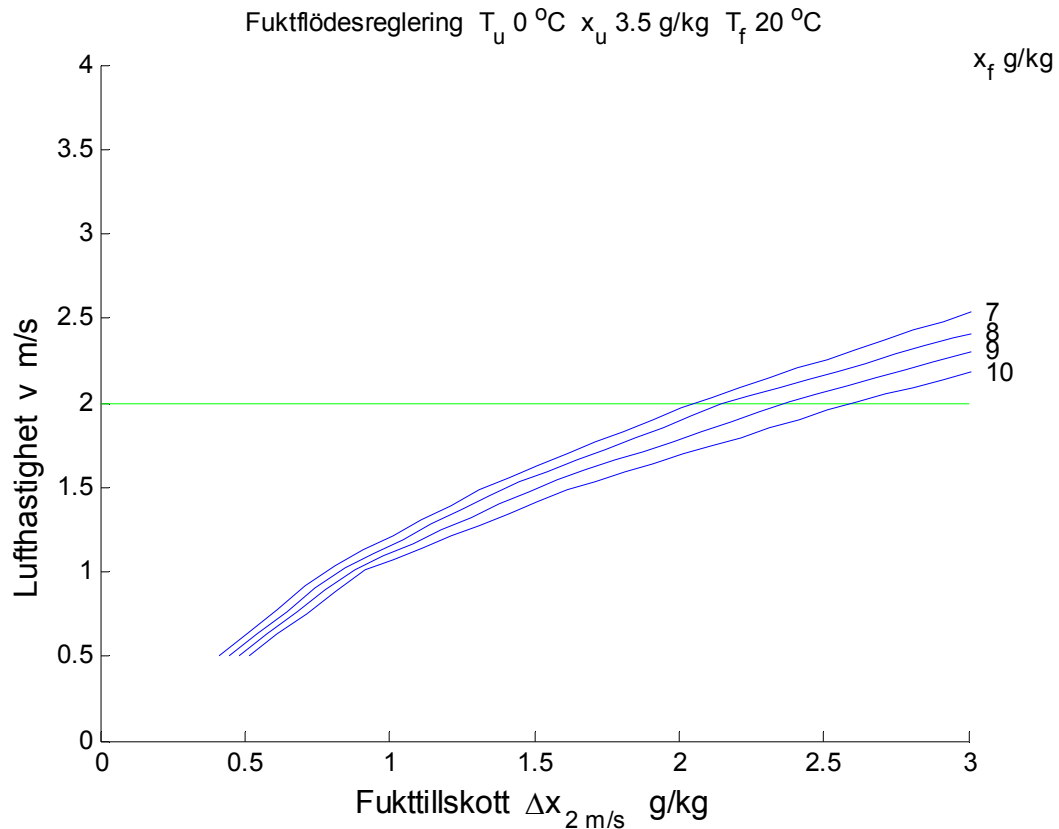
En kommentar till (1) och (2) är att fuktverkningsgraden är också en funktion av det relativa flödet q . Fuktverkningsgraden η_x minskar något med ökande relativt flöde q .

Beräkningar med flödesreglering har skett för uteluftstillstånd 0 °C och 3.5 g/kg med uppgift att hålla ett givet vatteninnehåll i frånluften som kan vara 7, 8, 9 och 10 g/kg. Motsvarande relativ luftfuktighet är 0.48, 0.54, 0.61 och 0.68.

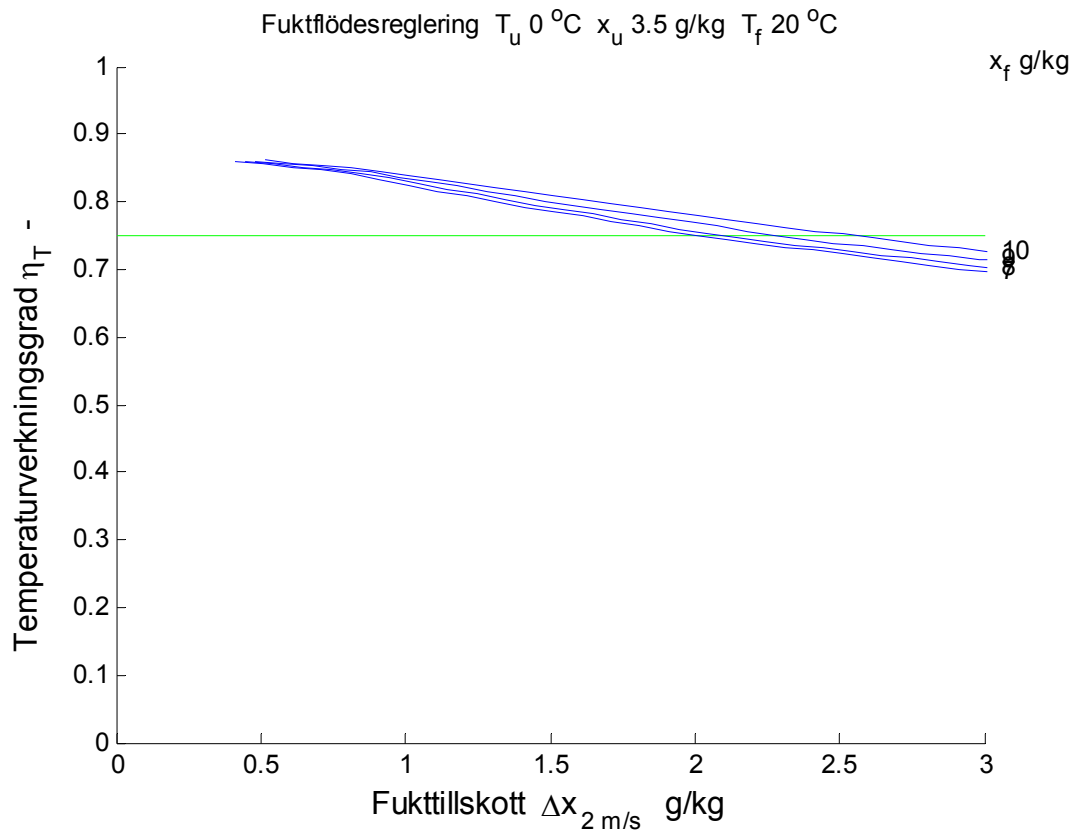
Den regenerativa värmeväxlingen kan modelleras för åtta olika lufthastigheter 0.5(0.5)4 m/s. Basfallets lufthastighet är 2 m/s. Värmeövergångstalet är lika med 40 W/Km² och är oberoende av lufthastigheten vid laminär strömning.

Fyra variabler redovisas som funktion av det nödvändiga fukttillskottet, vilket är normaliserat till lufthastigheten 2 m/s. Lufthastigheten, temperaturverkningsgraden, fuktverkningsgraden och fuktfaktorn redovisas i Figur 3.1-4 och kommentarer till kurvorna är följande:

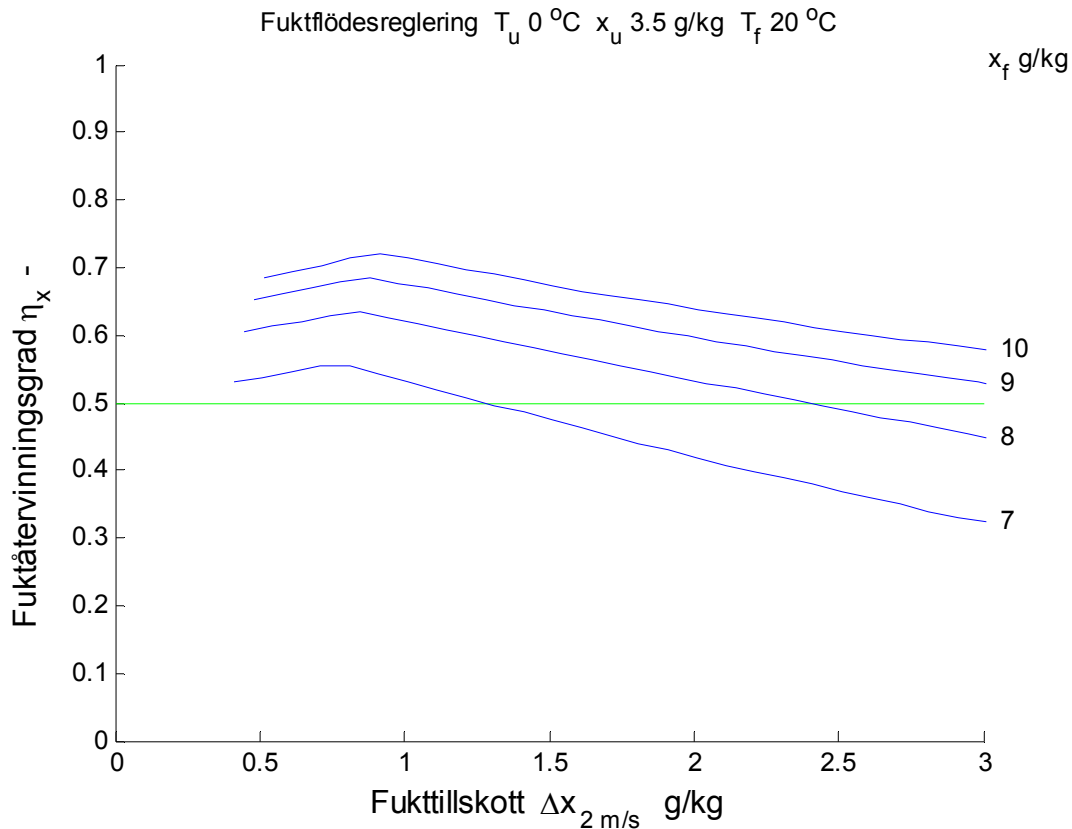
- Luftflödet kan minskas betydligt för fukttillskott upptill 2 g/kg.
- Lägre luftflöden krävs för högre tillåtet frånluftstillstånd.
- Temperaturverkningsgraden avtar något med ökande fukttillskott.
- Temperaturverkningsgraden påverkas obetydligt av frånluftstillståndet.
- Fuktverkningsgraden är betydande och långt från noll.
- Fuktverkningsgraden avtar relativt temperaturverkningsgraden betydligt mer.
- Fuktverkningsgraden beror mycket på frånluftstillståndet.
- Fuktfaktorn avtar betydligt med ökande fukttillskott.
- Fuktfaktorn visar på stora skillnader för olika frånluftstillstånd.



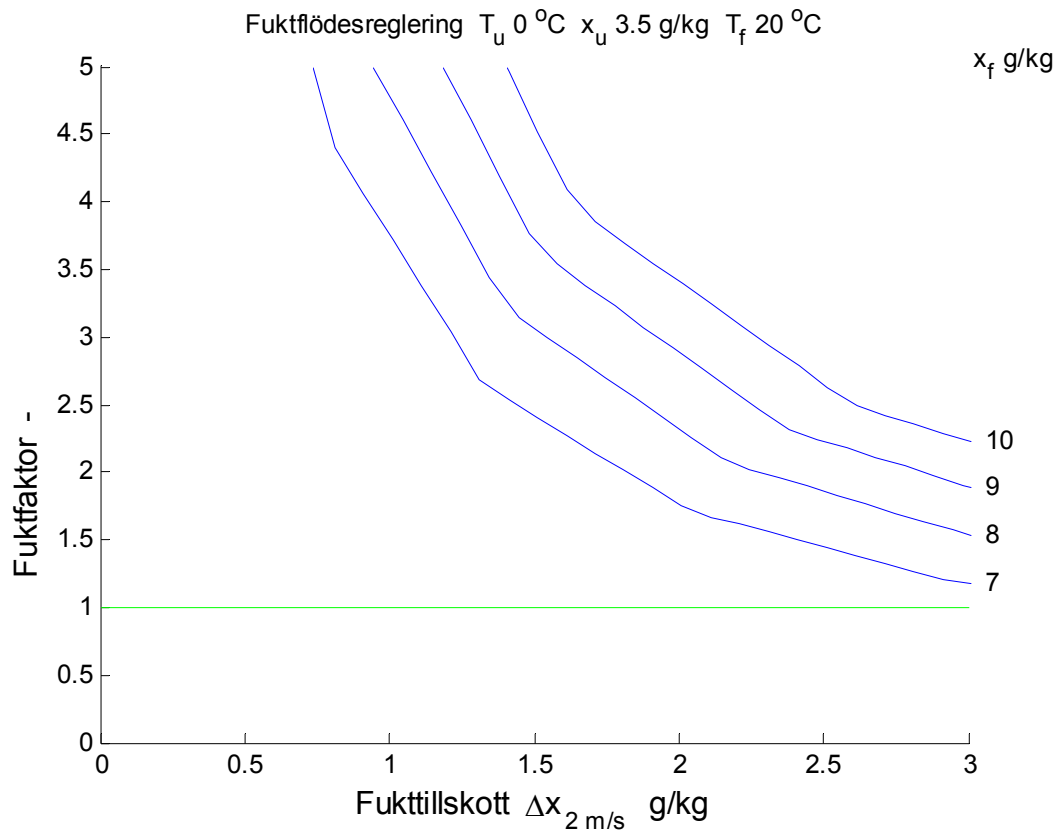
Figur 3.1 Lufthastighet v m/s som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg.



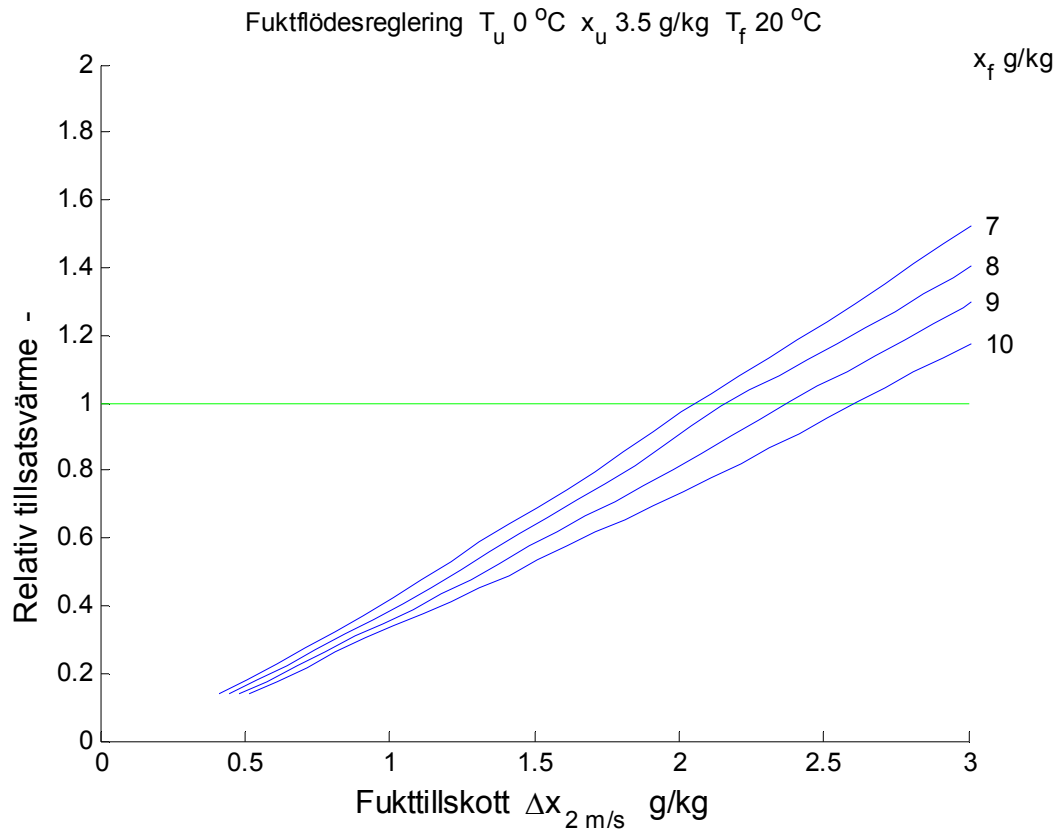
Figur 3.2 Verkningsgrad η_T - som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg.



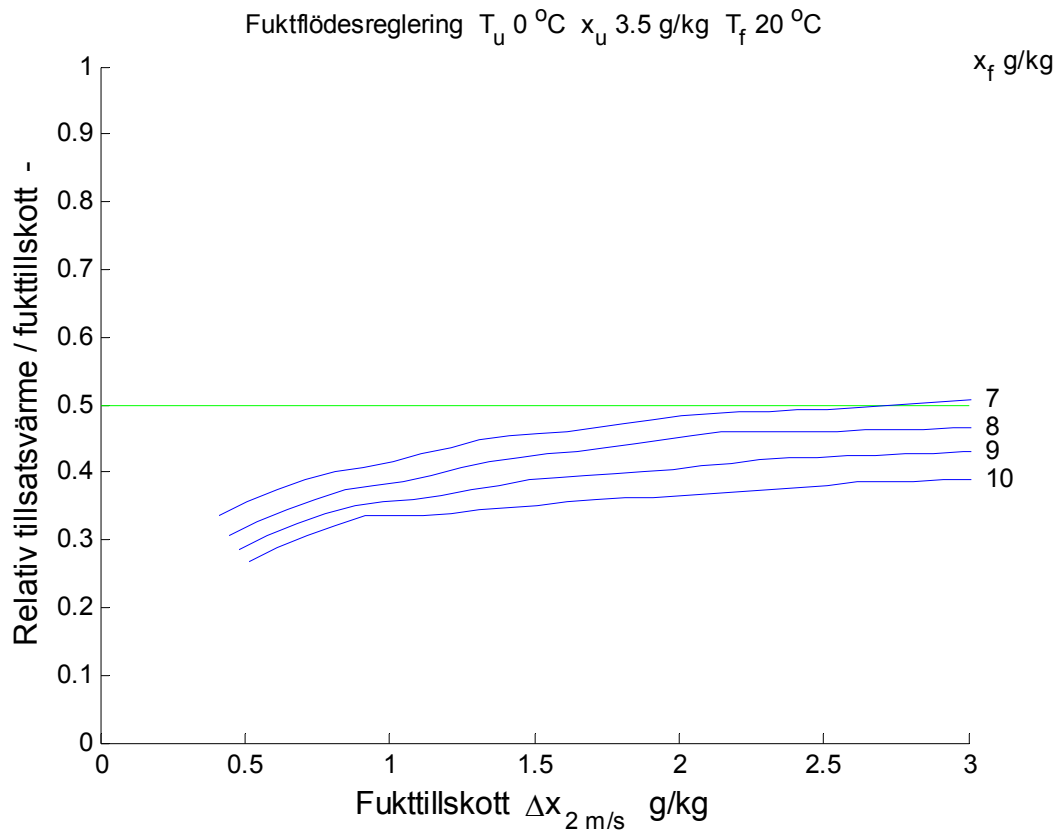
Figur 3.3 Verkningsgrad η_x - som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg..



Figur 3.4 Fuktfaktor f - som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg.



Figur 3.5 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg.



Figur 3.6 Tillsatsvärme / fukttillskott - som funktion av fukttillskott Δx g/kg för olika x_f g/kg.

4 Fuktreglering 7 g/kg vid 0 °C

Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal och lufthastigheter eller luftflöden som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 7 g/kg som funktion av olika fuktillskott Δx g/kg och för uteklimatet 0 °C och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Det önskade frånluftstillståndet 20 °C och 7 g/kg motsvarar en relativ luftfuktighet på 0.48.

Det finns i princip ett oändligt kombinationer av varvtal och lufthastighet/luftflöde för att hålla ett givet frånluftstillstånd för ett givet utetillstånd och ett givet fuktillskott.

Fuktillskottet gäller för basfallets luftflöde. Denna normalisering görs för att fuktillskottet är flödesberoende.

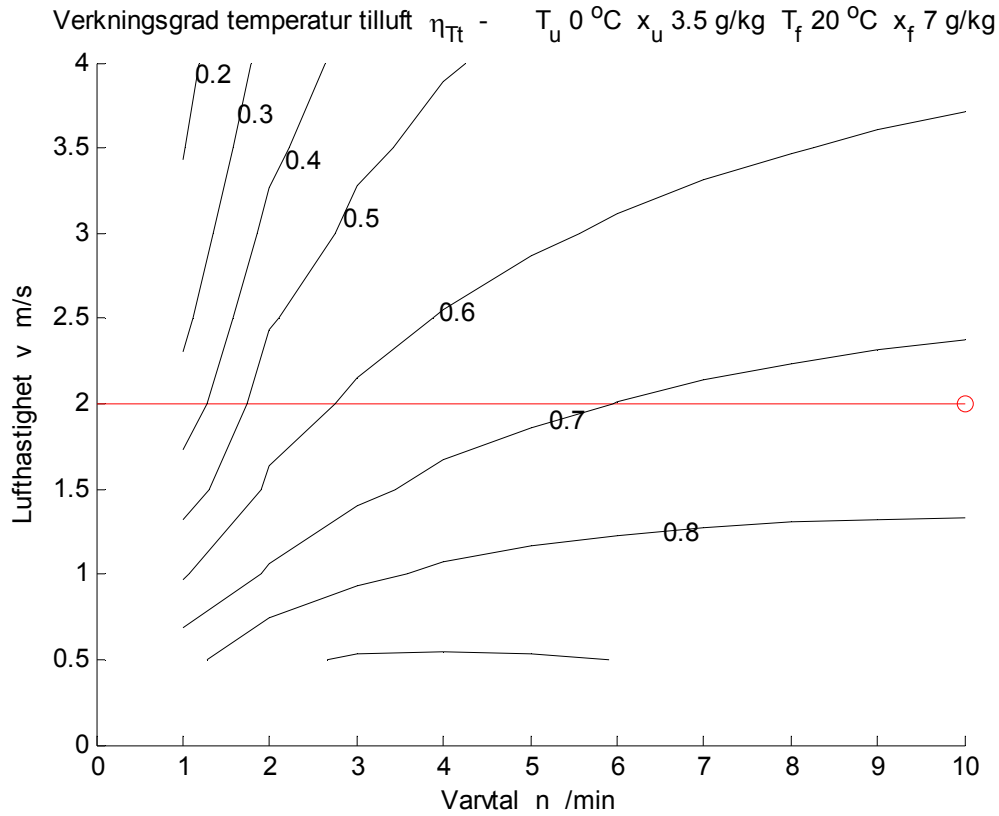
Sex olika variabler redovisas i Figur 4.1-6 i form av isodiagram med varvtal som x-axel och lufthastighet som y-axel och de är temperaturverkningsgrad för tilluft, fuktverkningsgrad för tilluft, entalpiverkningsgrad för tilluft, fuktillskott, fuktfaktor och tillsatsvärme relativt basfall.

De tre verkningsgraderna i Figur 4.1-3 avtar med ökande lufthastighet eller luftflöde och ökar genomgående med varvtalet bortsett från låga lufthastigheter omkring 0.5 m/s eller en fjärdedel av basfallet lufthastighet om 2 m/s.

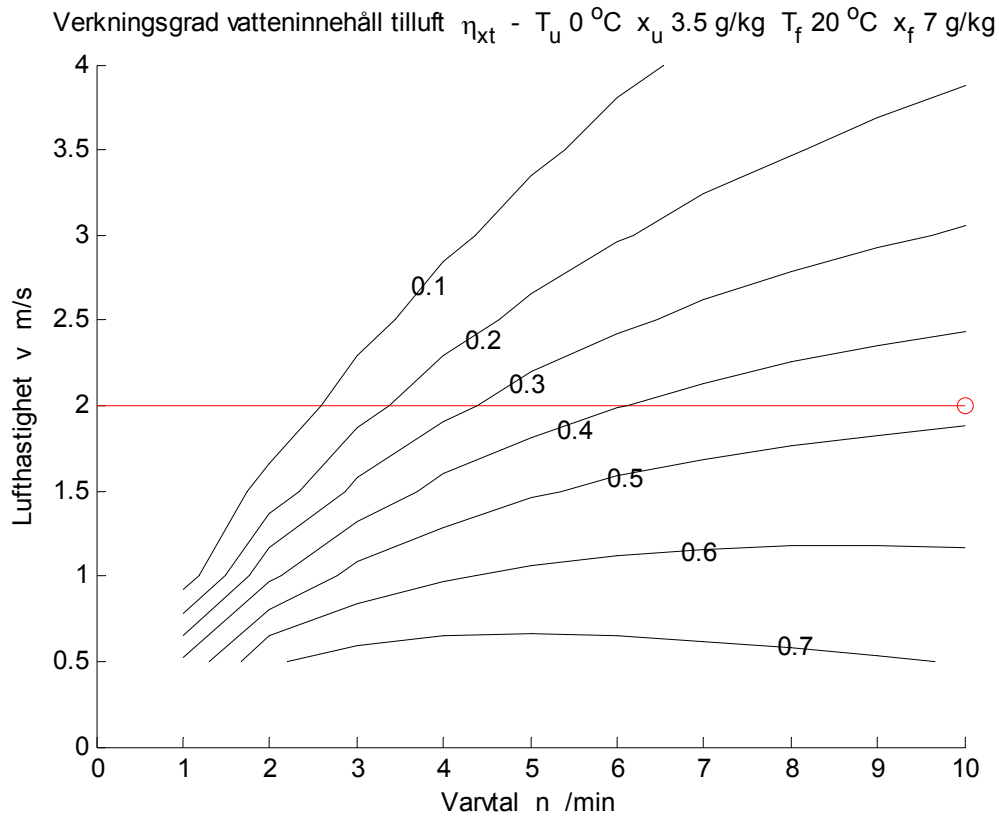
Fuktillskottet som kan klaras av i Figur 4.4 ökar något med varvtalet, men betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde.

Fuktfaktorn i Figur 4.5 ökar något med varvtalet, men avtar betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde. Fuktfaktorn kan bli mindre än 1.0 om bara luftflödet är tillräckligt mycket större än basfallets flöde.

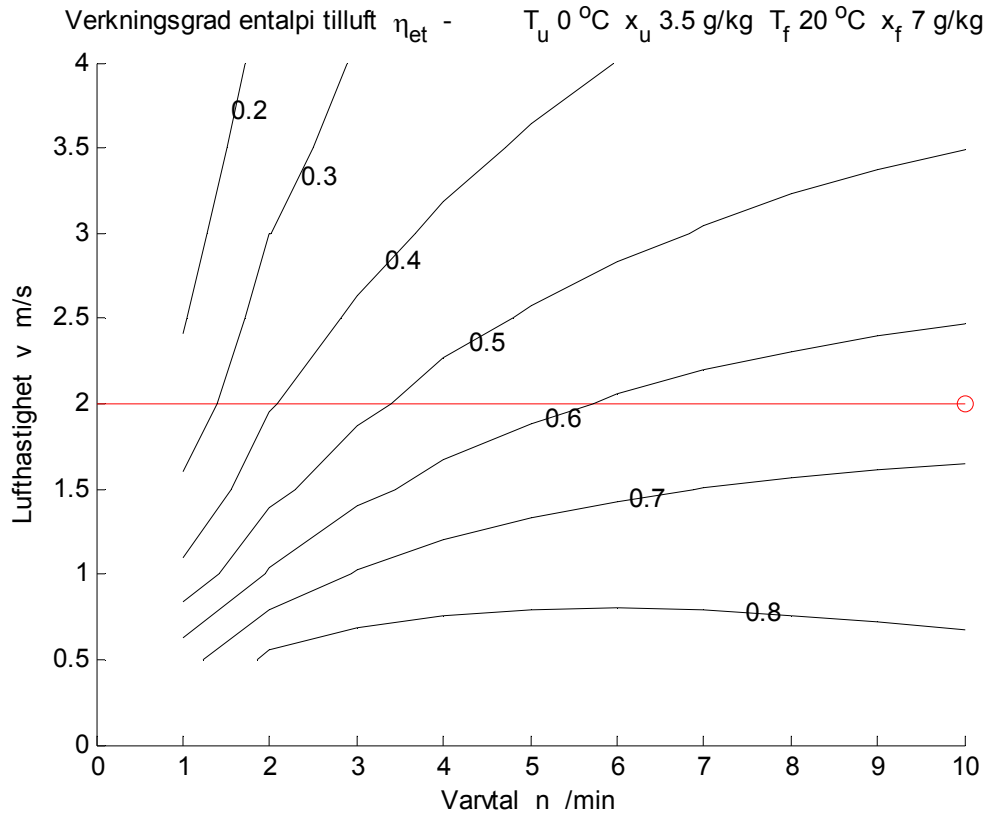
Vilket reglersätt som är bäst ur energisynpunkt visas i Figur 4.6 med tillsatsvärmebehovet som krävs för att uppnå frånluftstemperaturen.



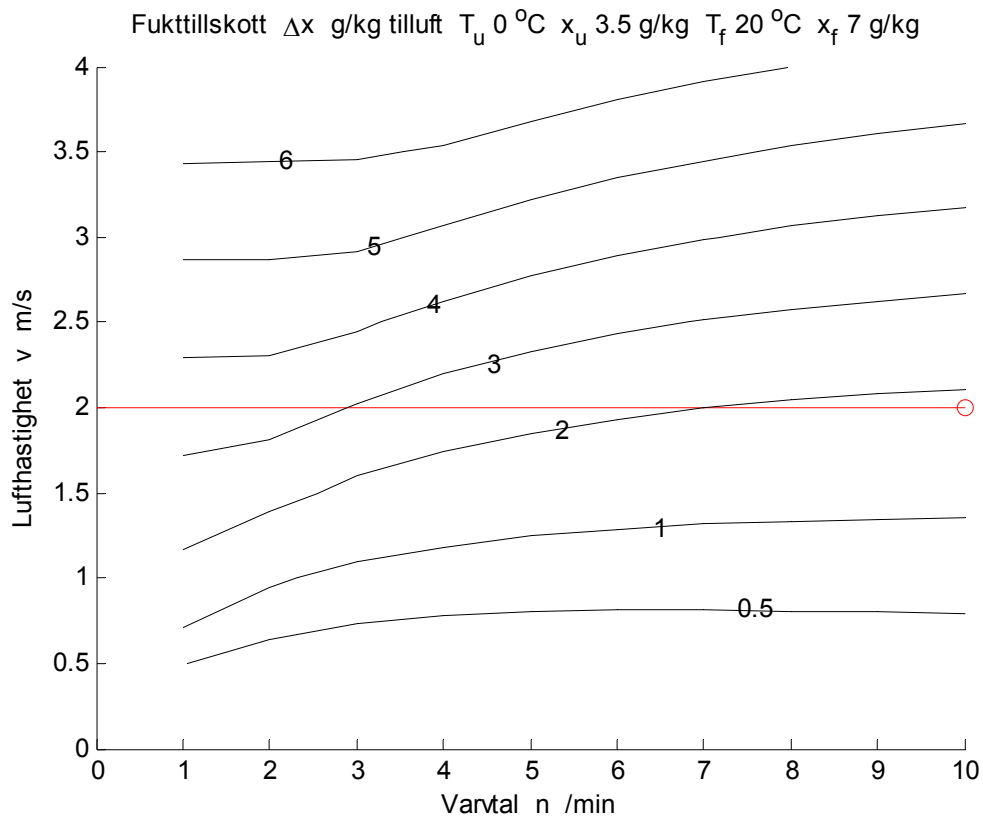
Figur 4.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.



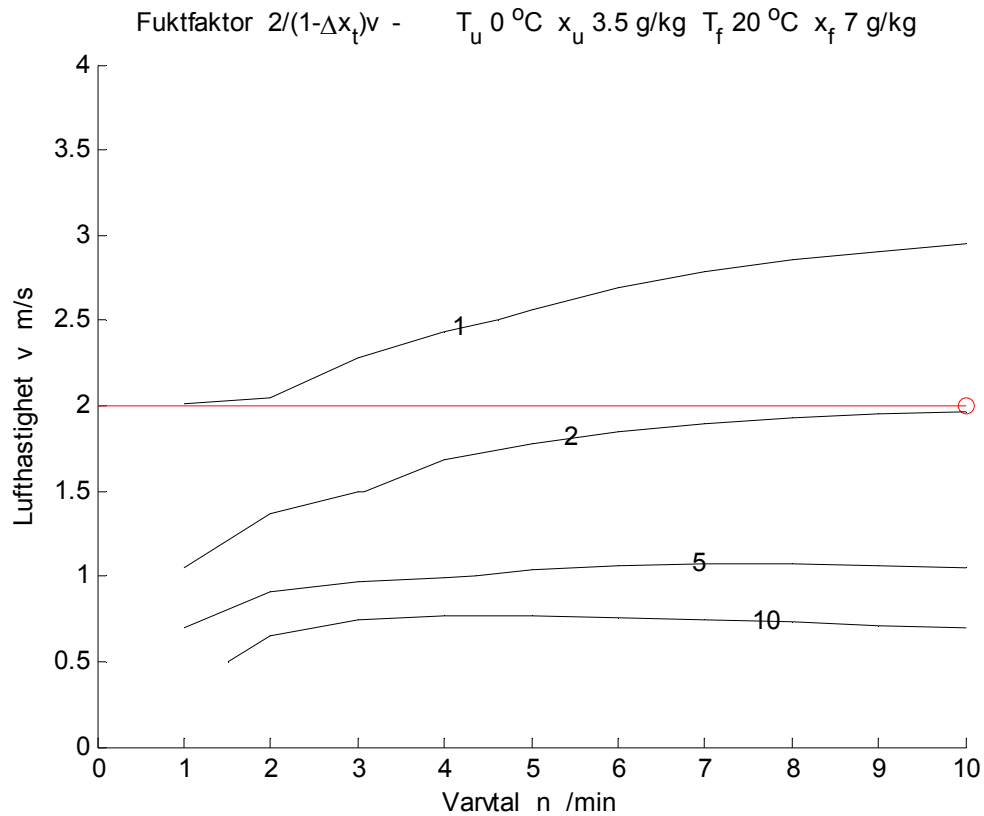
Figur 4.2 Fuktverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.



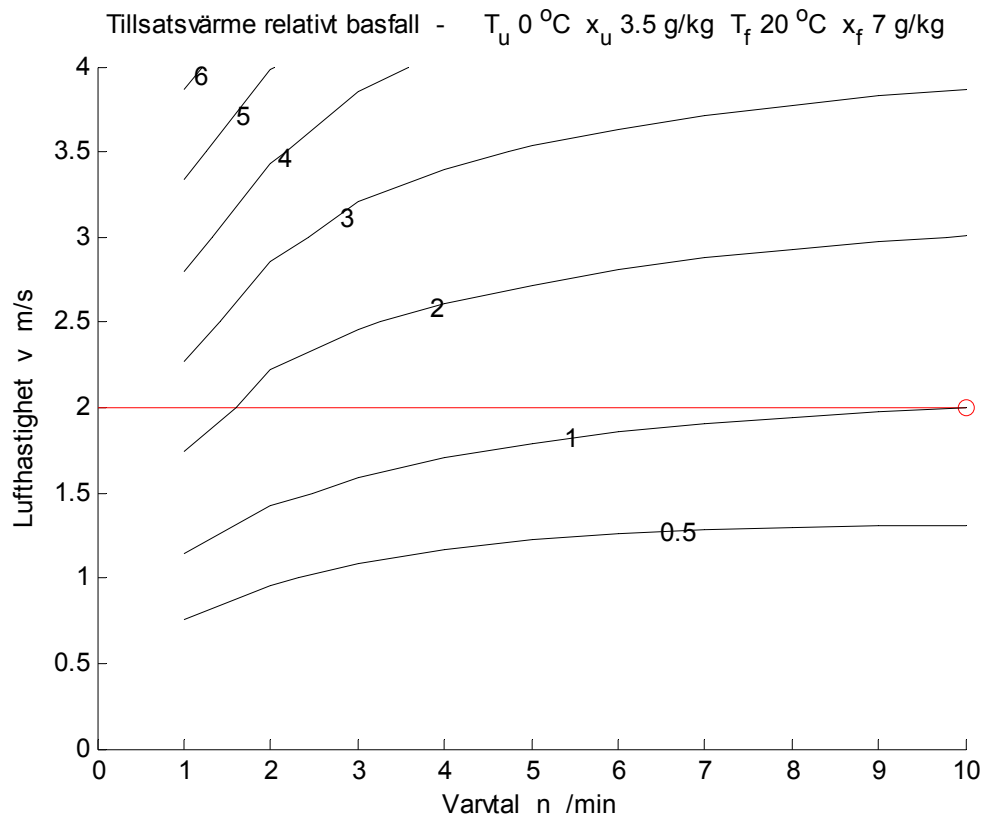
Figur 4.3 Entalpiverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.



Figur 4.4 Fukttillskott som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.



Figur 4.5 Fuktfaktor som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.



Figur 4.6 Tillsatsvärme mot basfall som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 7 g/kg.

5 Fuktreglering 8 g/kg vid 0 °C

Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal och lufthastigheter eller luftflöden som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 8 g/kg som funktion av olika fuktillskott Δx g/kg och för uteklimatet 0 °C och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Det önskade frånluftstillståndet 20 °C och 8 g/kg motsvarar en relativ luftfuktighet på 0.54.

Det finns i princip ett oändligt kombinationer av varvtal och lufthastighet/luftflöde för att hålla ett givet frånluftstillstånd för ett givet utetillstånd och ett givet fuktillskott.

Fuktillskottet gäller för basfallets luftflöde. Denna normalisering görs för att fuktillskottet är flödesberoende.

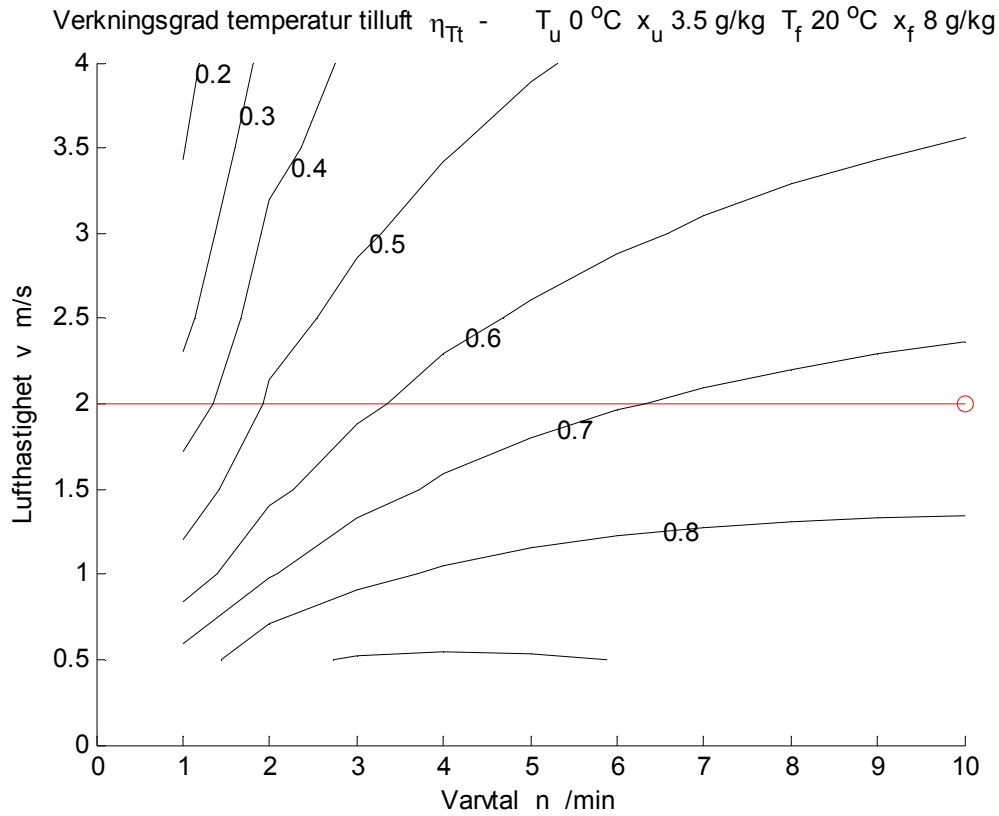
Sex olika variabler redovisas i Figur 5.1-6 i form av isodiagram med varvtal som x-axel och lufthastighet som y-axel och de är temperaturverkningsgrad för tilluft, fuktverkningsgrad för tilluft, entalpiverkningsgrad för tilluft, fuktillskott, fuktfaktor och tillsatsvärme relativt basfall.

De tre verkningsgraderna i Figur 5.1-3 avtar med ökande lufthastighet eller luftflöde och ökar genomgående med varvtalet bortsett från låga lufthastigheter omkring 0.5 m/s eller en fjärdedel av basfallet lufthastighet om 2 m/s.

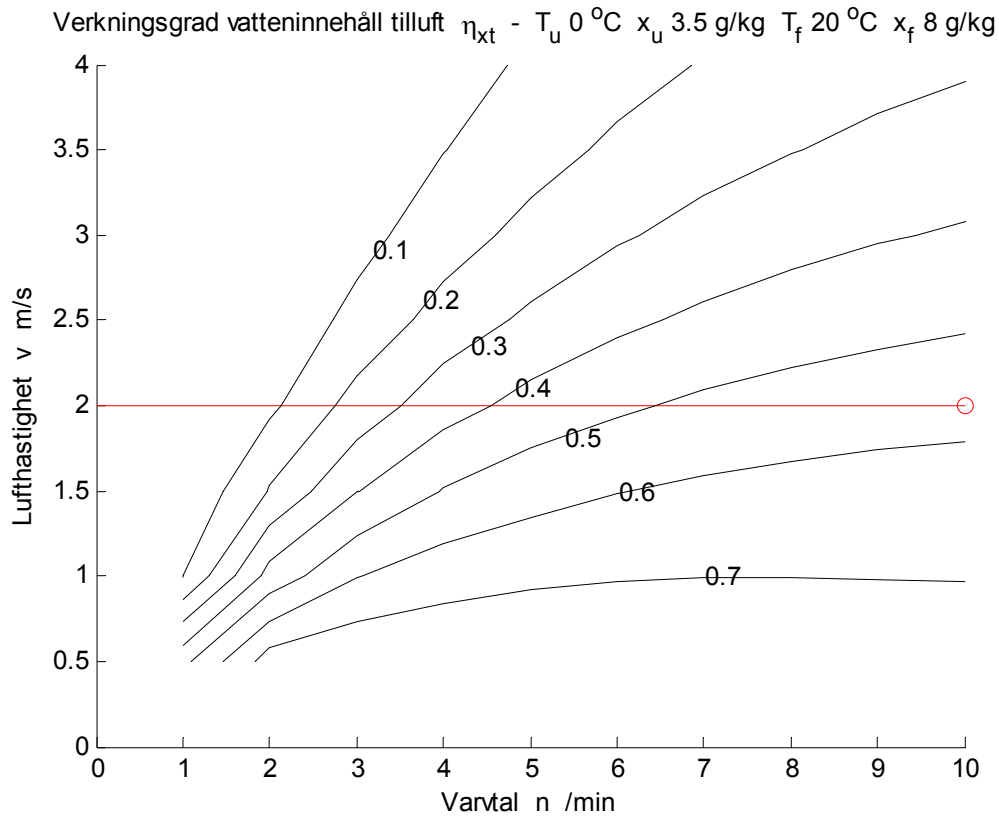
Fuktillskottet som kan klaras av i Figur 5.4 ökar något med varvtalet, men betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde.

Fuktfaktorn i Figur 5.5 ökar något med varvtalet, men avtar betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde. Fuktfaktorn kan bli mindre än 1.0 om bara luftflödet är tillräckligt mycket större än basfallets flöde.

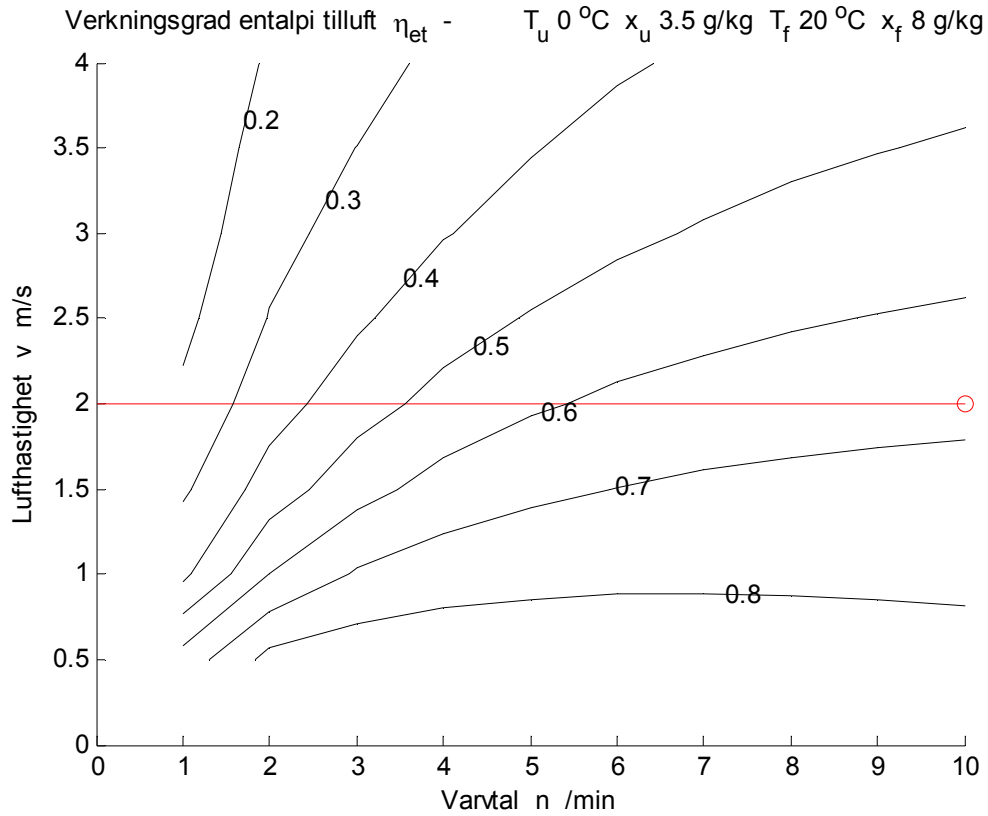
Vilket reglersätt som är bäst ur energisynpunkt visas i Figur 5.6 med tillsatsvärmebehovet som krävs för att uppnå frånluftstemperaturen.



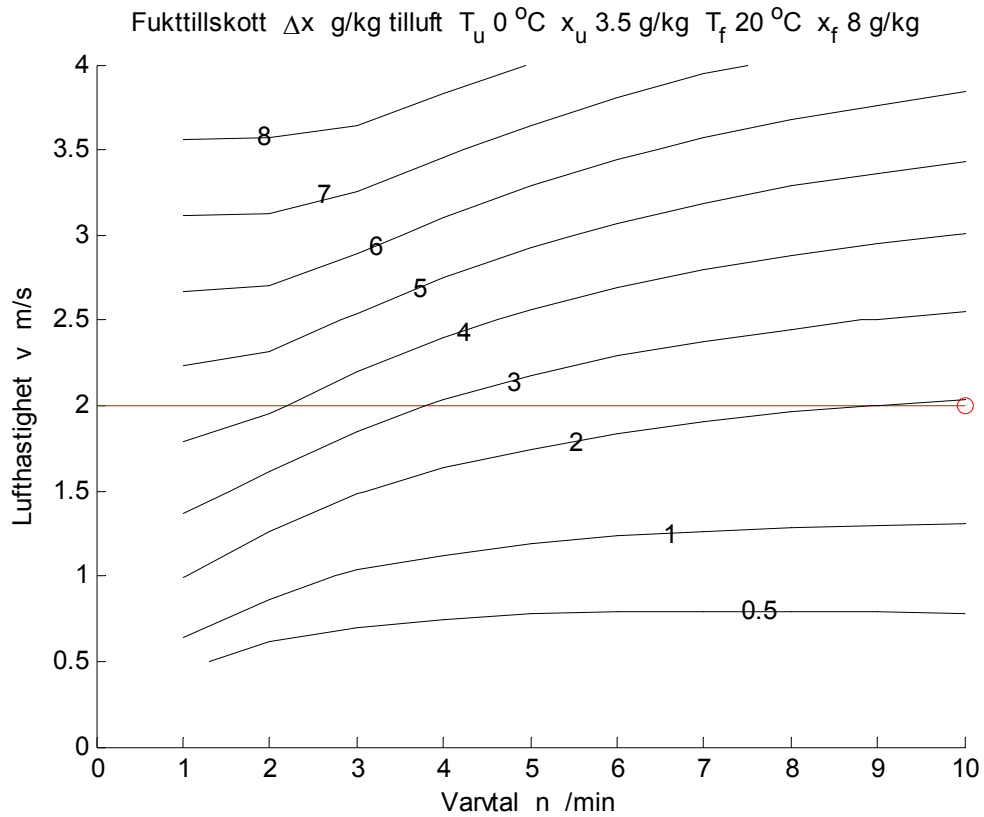
Figur 5.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.



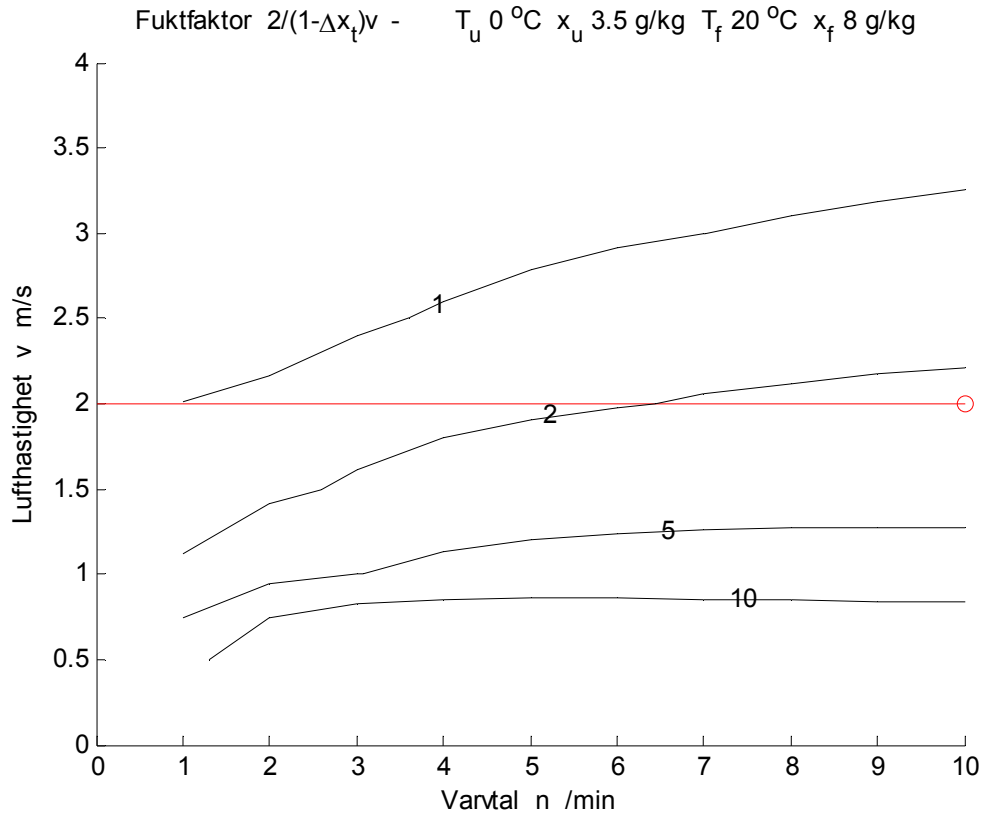
Figur 5.2 Fuktverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.



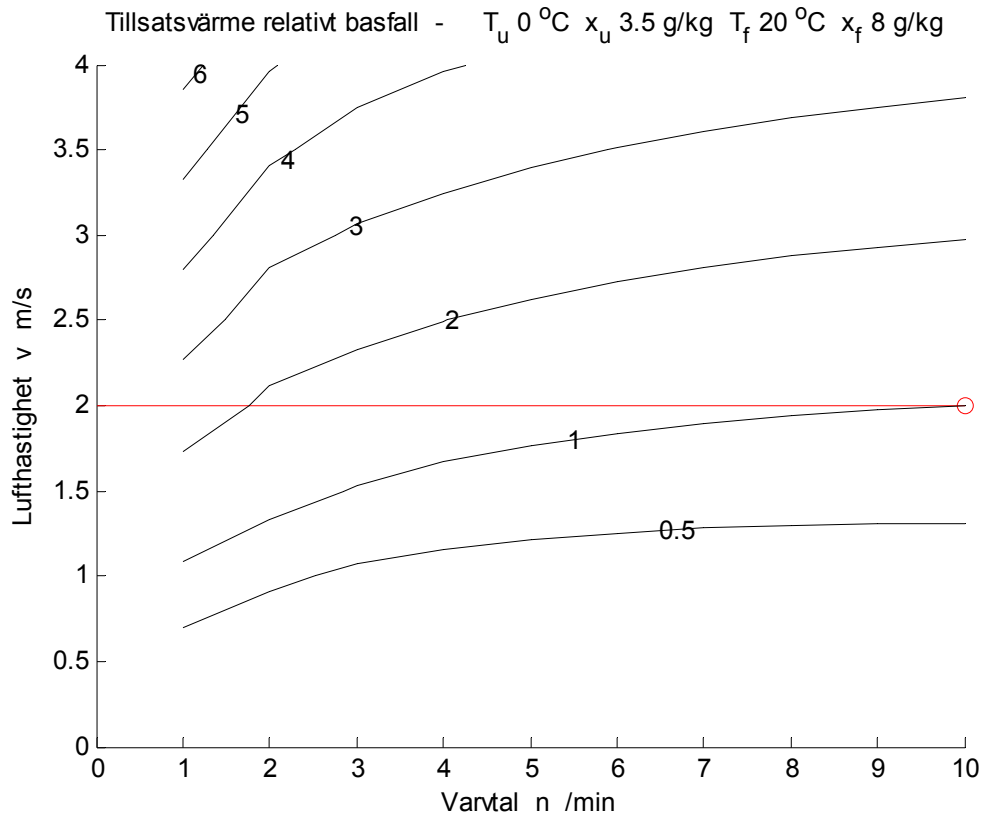
Figur 5.3 Entalpiverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.



Figur 5.4 Fukttillskott som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.



Figur 5.5 Fuktfaktor som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.



Figur 5.6 Tillsatsvärme mot basfall som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 8 g/kg.

6 Fuktreglering 9 g/kg vid 0 °C

Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal och lufthastigheter eller luftflöden som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 9 g/kg som funktion av olika fuktillskott Δx g/kg och för uteklimatet 0 °C och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Det önskade frånluftstillståndet 20 °C och 9 g/kg motsvarar en relativ luftfuktighet på 0.61.

Det finns i princip ett oändligt kombinationer av varvtal och lufthastighet/luftflöde för att hålla ett givet frånluftstillstånd för ett givet utetillstånd och ett givet fuktillskott.

Fuktillskottet gäller för basfallets luftflöde. Denna normalisering görs för att fuktillskottet är flödesberoende.

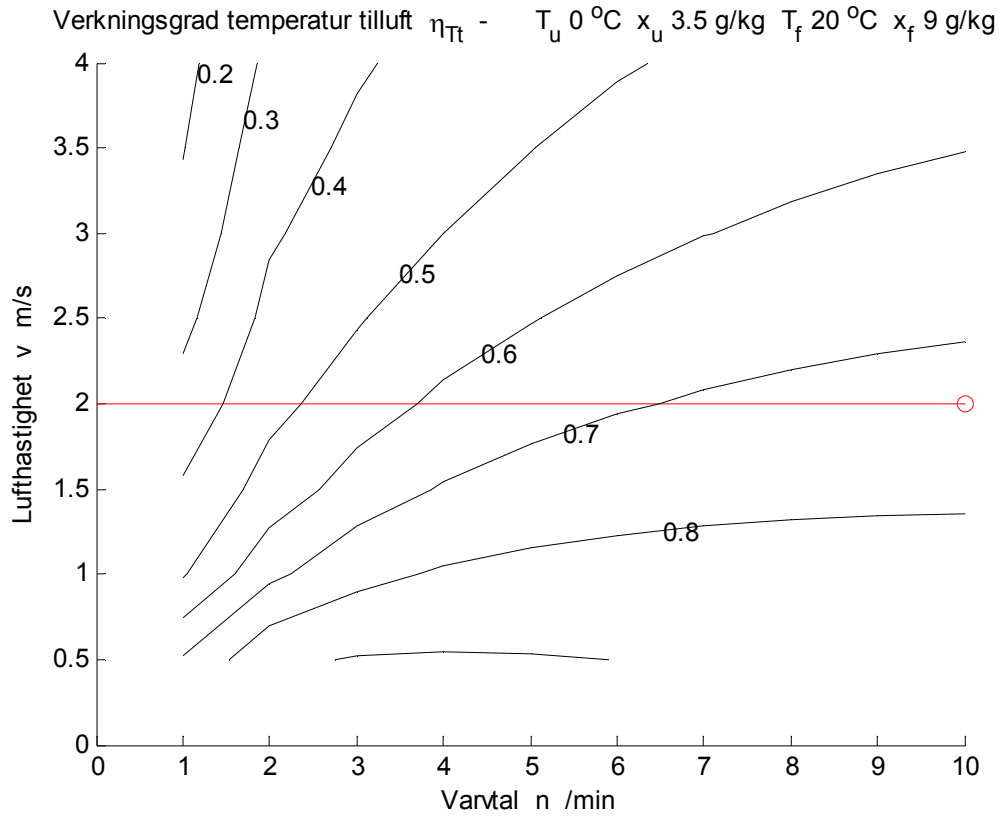
Sex olika variabler redovisas i Figur 6.1-6 i form av isodiagram med varvtal som x-axel och lufthastighet som y-axel och de är temperaturverkningsgrad för tilluft, fuktverkningsgrad för tilluft, entalpiverkningsgrad för tilluft, fuktillskott, fuktfaktor och tillsatsvärme relativt basfall.

De tre verkningsgraderna i Figur 6.1-3 avtar med ökande lufthastighet eller luftflöde och ökar genomgående med varvtalet bortsett från låga lufthastigheter omkring 0.5 m/s eller en fjärdedel av basfallet lufthastighet om 2 m/s.

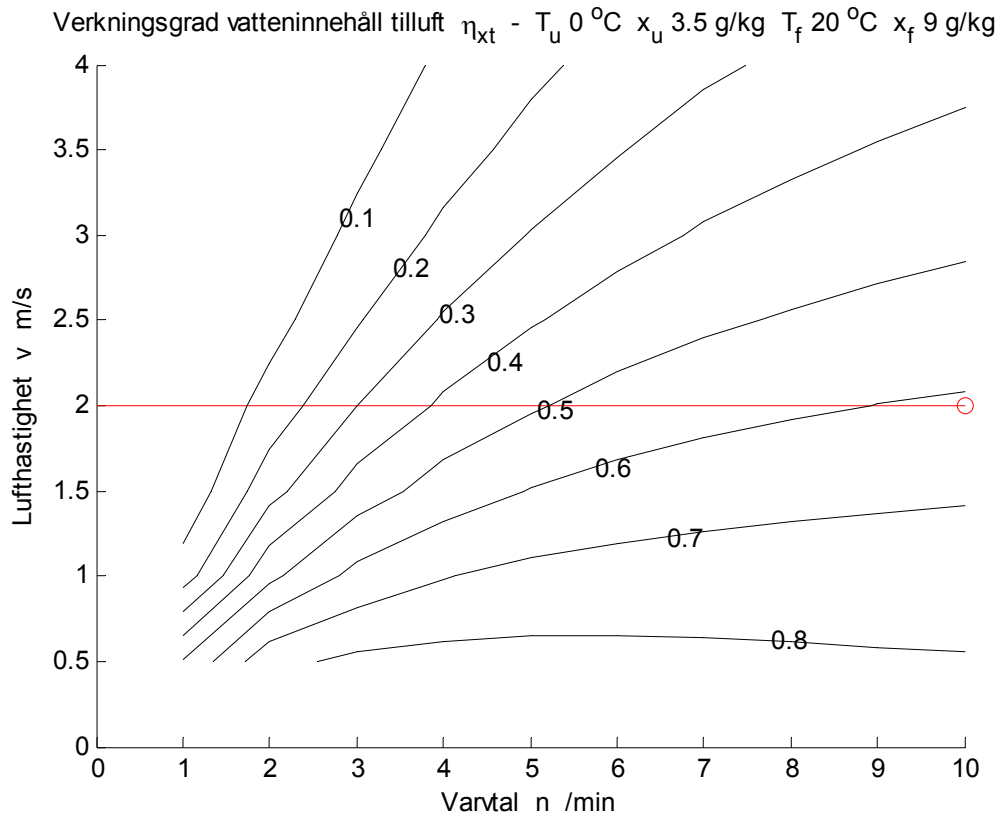
Fuktillskottet som kan klaras av i Figur 6.4 ökar något med varvtalet, men betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde.

Fuktfaktorn i Figur 6.5 ökar något med varvtalet, men avtar betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde. Fuktfaktorn kan bli mindre än 1.0 om bara luftflödet är tillräckligt mycket större än basfallets flöde.

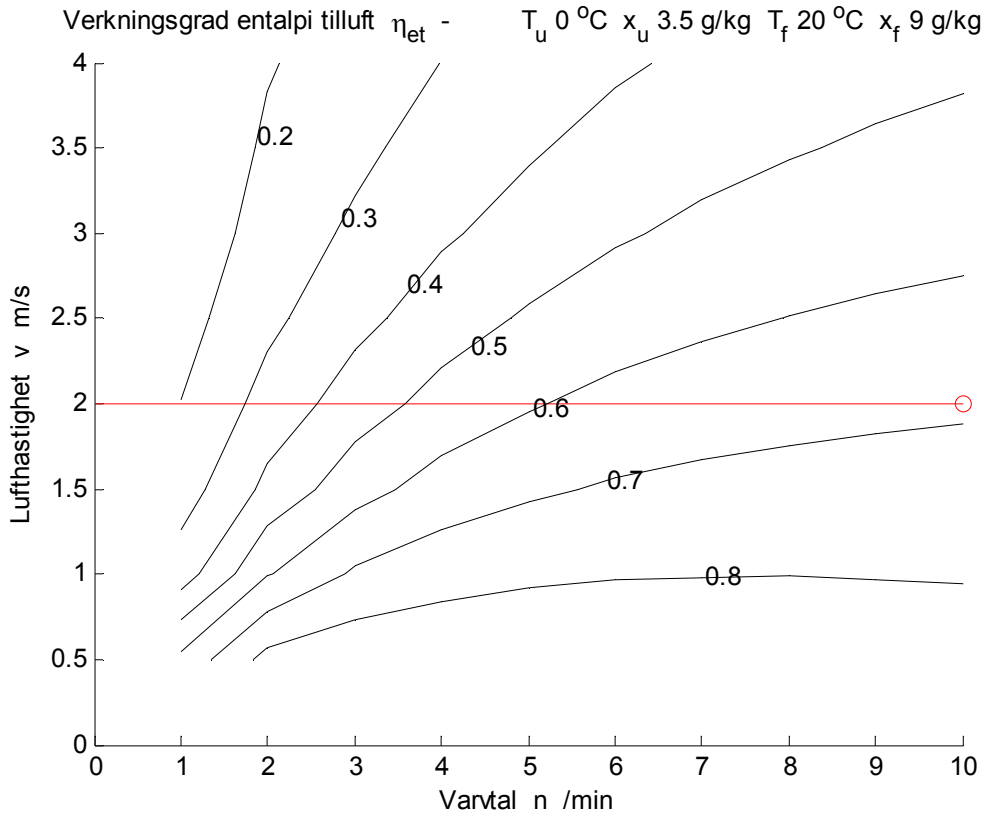
Vilket reglersätt som är bäst ur energisynpunkt visas i Figur 6.6 med tillsatsvärmebehovet som krävs för att uppnå frånluftstemperaturen.



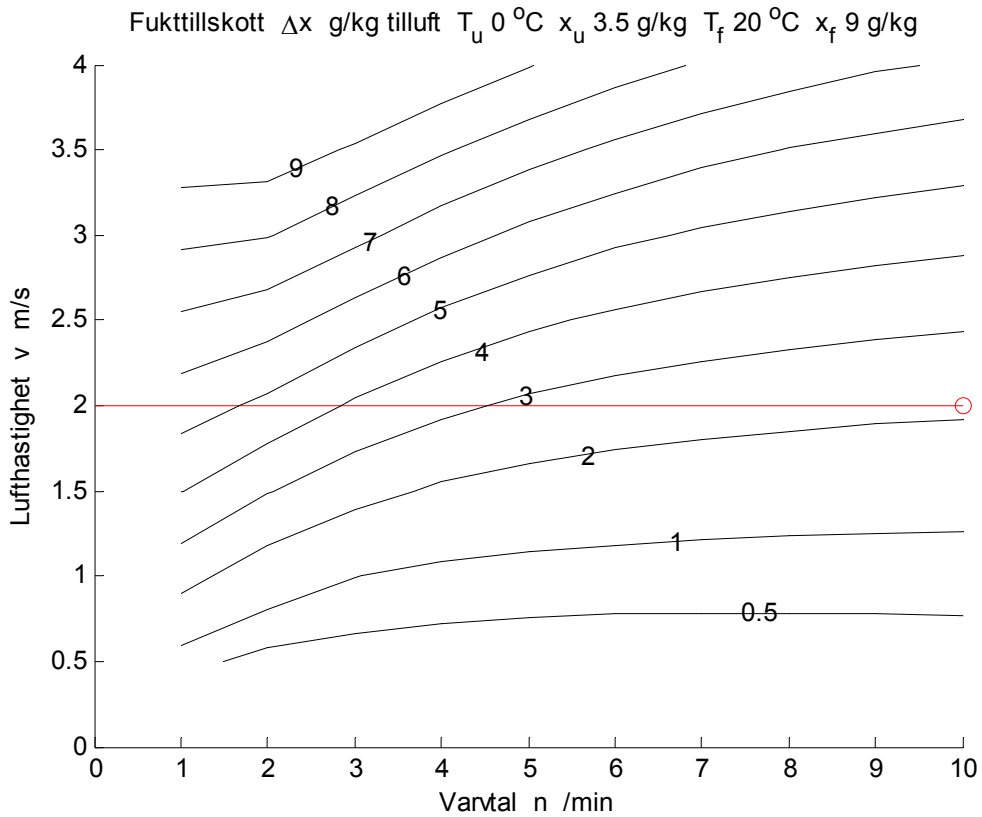
Figur 6.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.



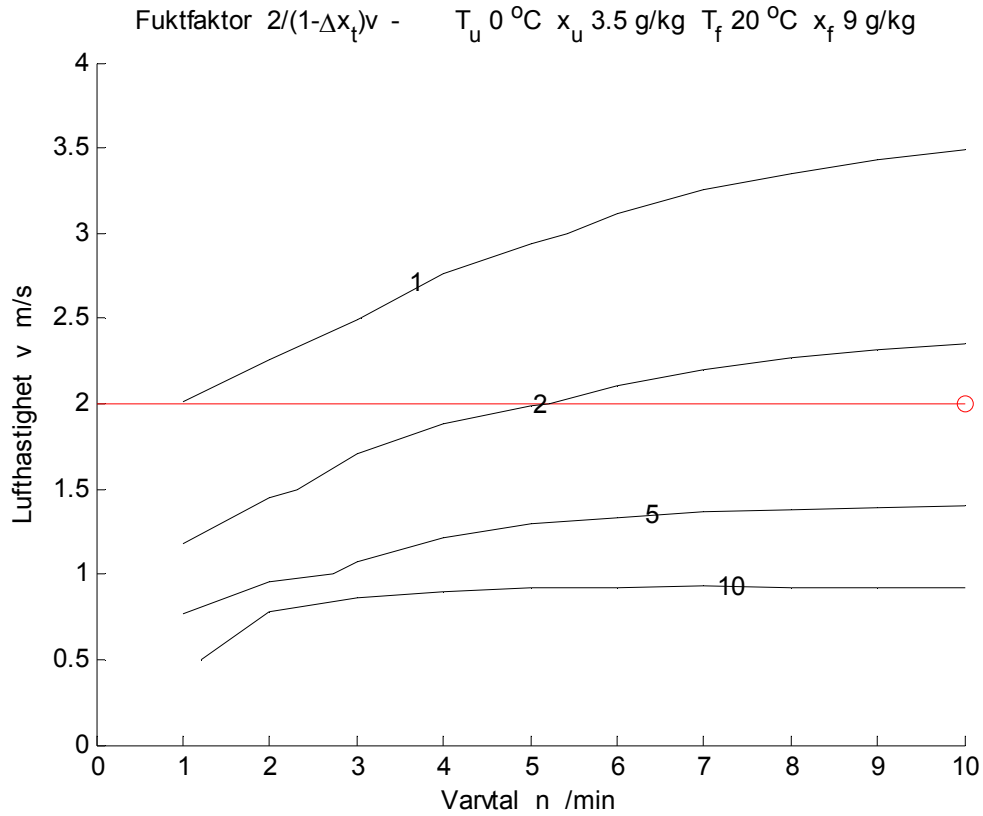
Figur 6.2 Fuktverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.



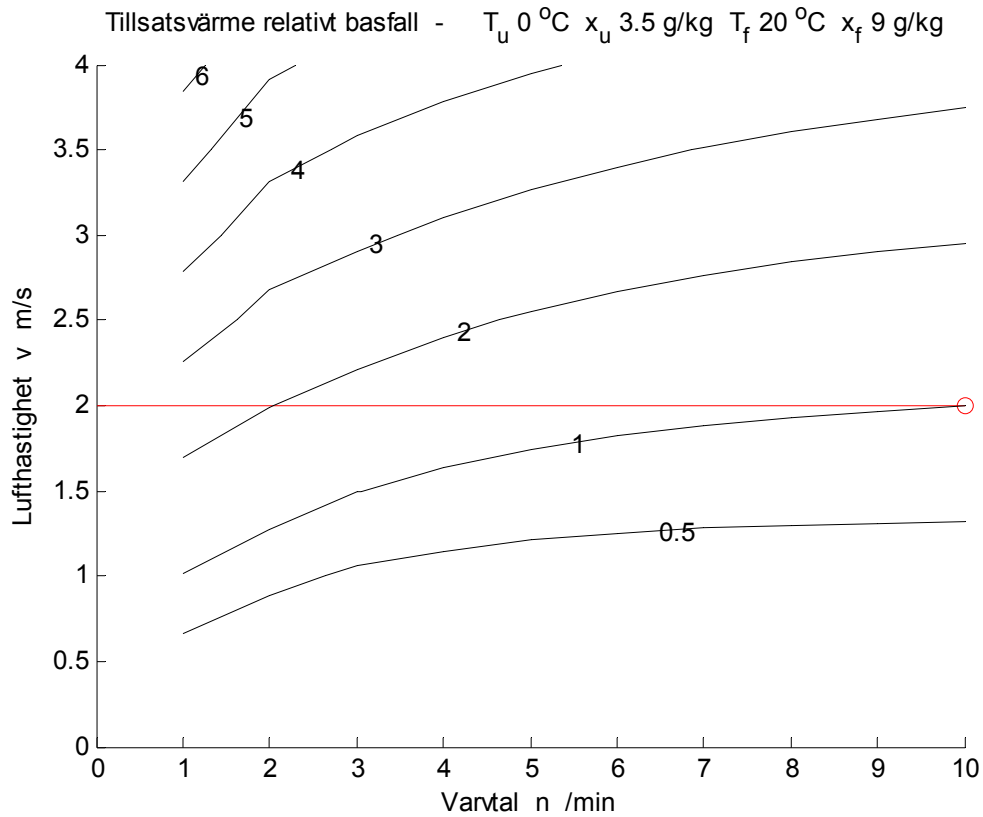
Figur 6.3 Entalpiverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.



Figur 6.4 Fuktillskott som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.



Figur 6.5 Fuktfaktor som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.



Figur 6.6 Tillsatsvärme mot basfall som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 9 g/kg.

7 Fuktreglering 10 g/kg vid 0 °C

Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal och lufthastigheter eller luftflöden som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 10 g/kg som funktion av olika fuktillskott Δx g/kg och för uteklimatet 0 °C och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Det önskade frånluftstillståndet 20 °C och 7 g/kg motsvarar en relativ luftfuktighet på 0.68.

Det finns i princip ett oändligt kombinationer av varvtal och lufthastighet/luftflöde för att hålla ett givet frånluftstillstånd för ett givet utetillstånd och ett givet fuktillskott.

Fuktillskottet gäller för basfallets luftflöde. Denna normalisering görs för att fuktillskottet är flödesberoende.

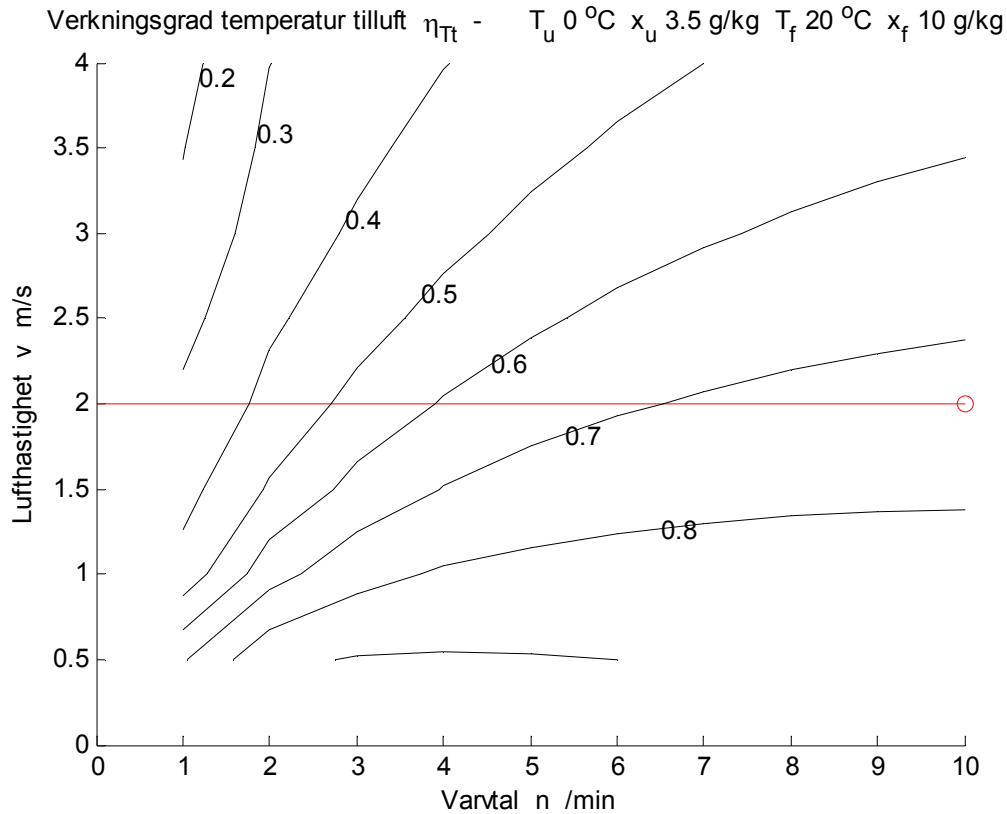
Sex olika variabler redovisas i Figur 7.1-6 i form av isodiagram med varvtal som x-axel och lufthastighet som y-axel och de är temperaturverkningsgrad för tilluft, fuktverkningsgrad för tilluft, entalpiverkningsgrad för tilluft, fuktillskott, fuktfaktor och tillsatsvärme relativt basfall.

De tre verkningsgraderna i Figur 7.1-3 avtar med ökande lufthastighet eller luftflöde och ökar genomgående med varvtalet bortsett från låga lufthastigheter omkring 0.5 m/s eller en fjärdedel av basfallet lufthastighet om 2 m/s.

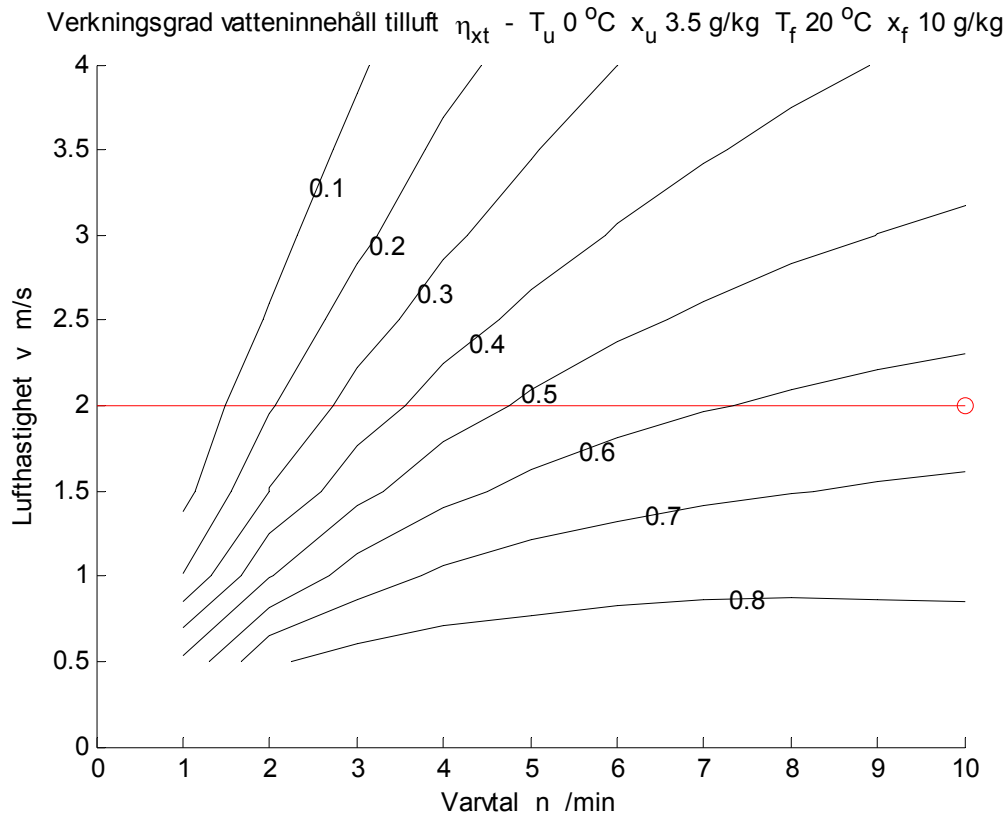
Fuktillskottet som kan klaras av i Figur 7.4 ökar något med varvtalet, men betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde.

Fuktfaktorn i Figur 7.5 ökar något med varvtalet, men avtar betydligt med ökande lufthastighet eller luftflöde. Fuktfaktorn kan bli mindre än 1.0 om bara luftflödet är tillräckligt mycket större än basfallets flöde.

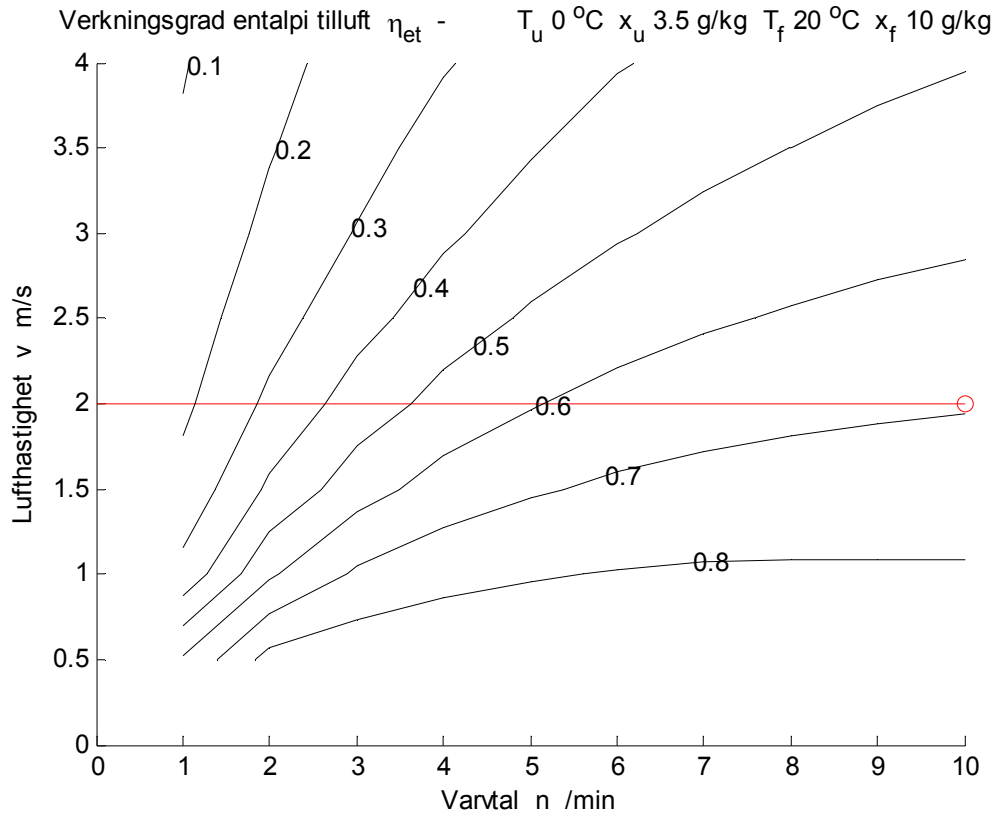
Vilket reglersätt som är bäst ur energisynpunkt visas i Figur 7.6 med tillsatsvärmebehovet som krävs för att uppnå frånluftstemperaturen.



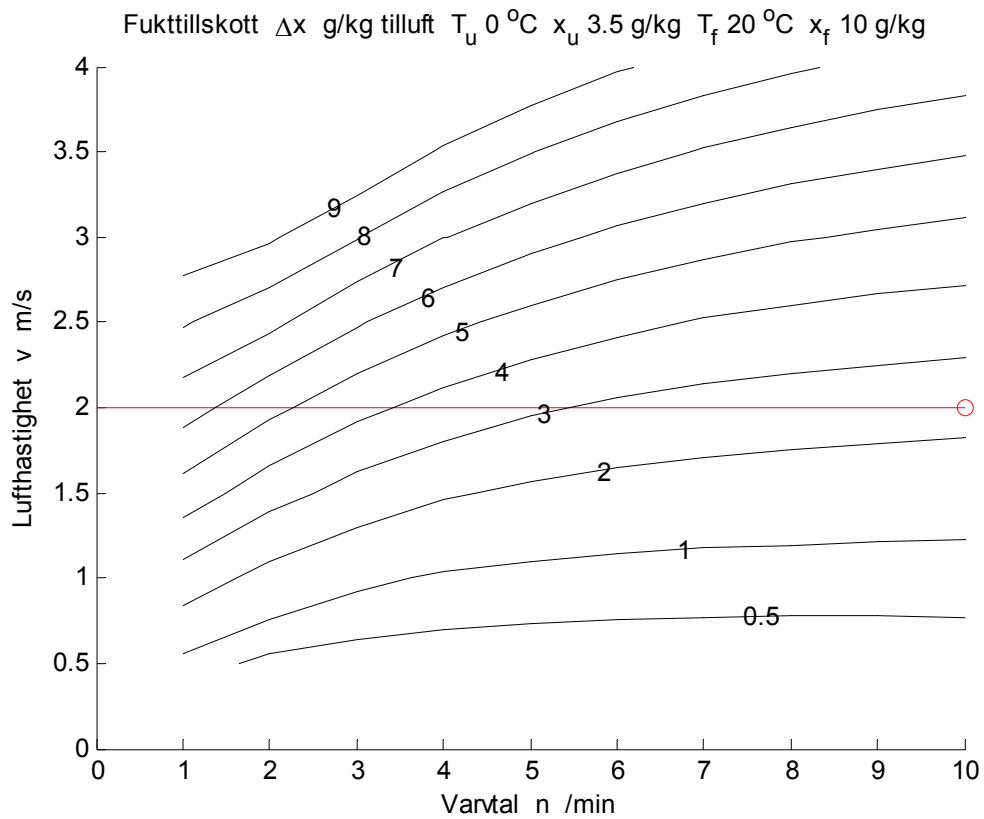
Figur 7.1 Temperaturverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.



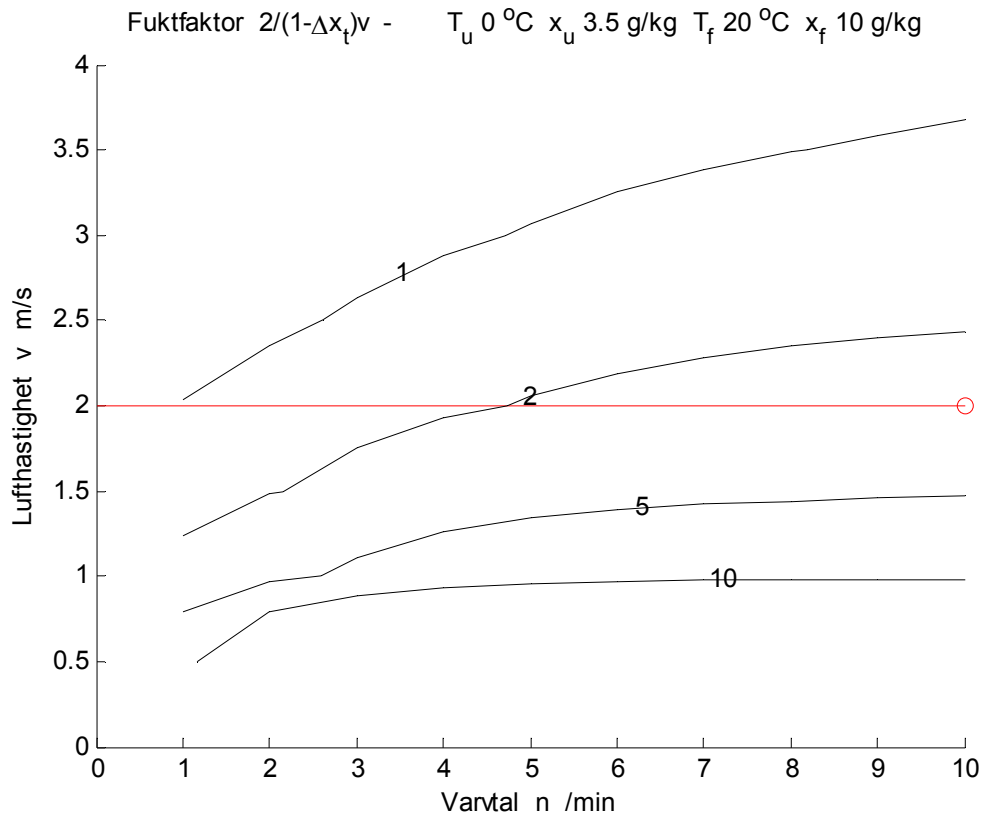
Figur 7.2 Fuktverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.



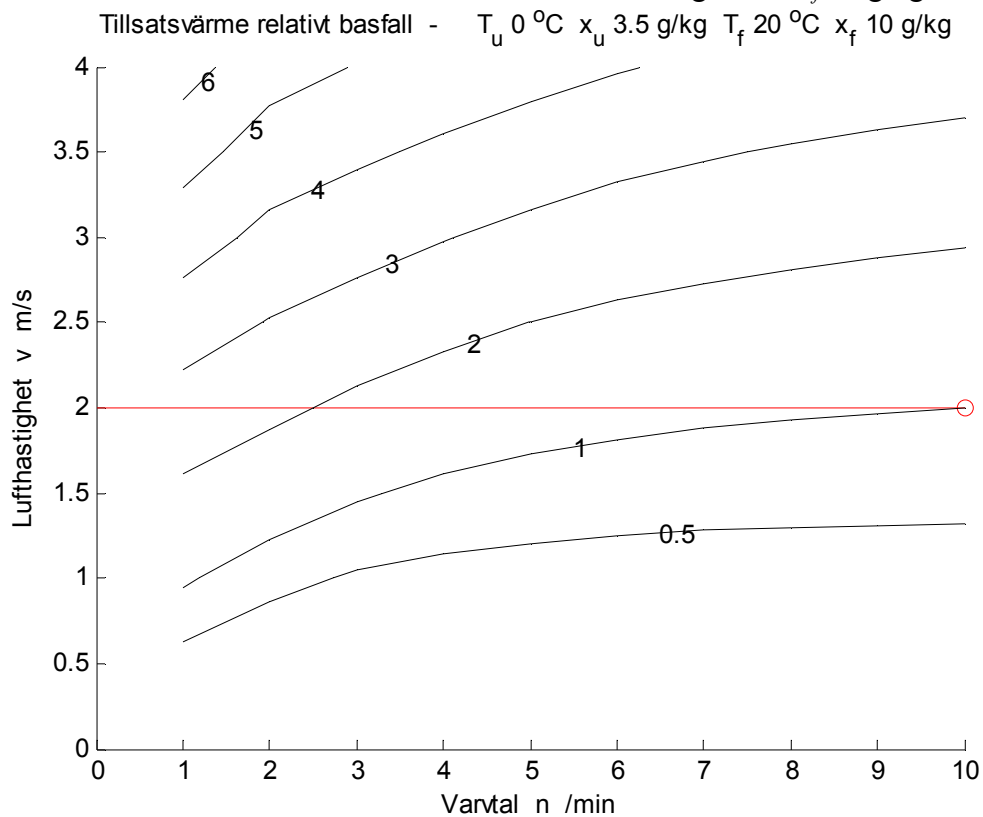
Figur 7.3 Entalpiverkningsgrad som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.



Figur 7.4 Fukttillskott som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.



Figur 7.5 Fuktfaktor som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.



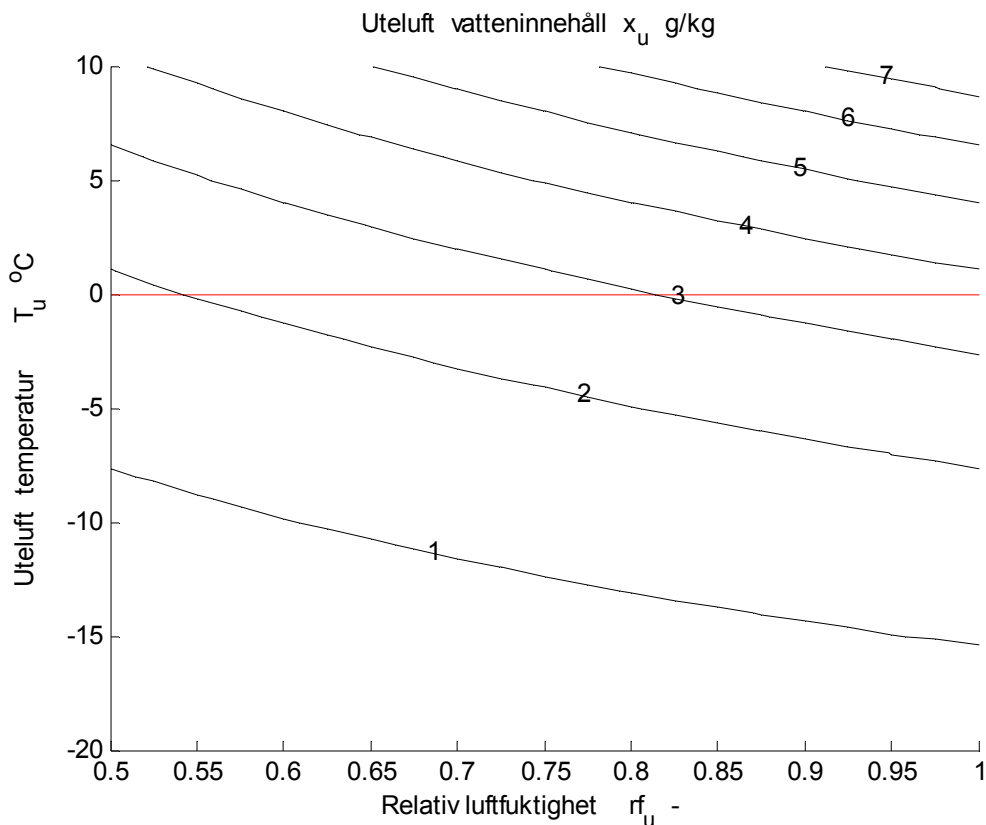
Figur 7.6 Tillsatsvärme mot basfall som funktion av varvtal och lufthastighet för x_f 10 g/kg.

8 Fuktöverskott

Erfarenheter från ett antal beräkningar med regenerativ värmväxling visar att det för varje period kan ske en fuktökning i värmväxlaren. Detta fuktöverskott lämnar värmväxlaren som fritt vatten på ett eller annat sätt. Detta fuktöverskott kan även försvåra luftgenomströmningen av den regenerativa värmväxlaren. En viktig anmärkning är att isbildning inte beaktas i den använda beräkningsmodellen.

I detta avsnitt redovisas ett antal beräkningar med fem givna frånluftstillstånd, temperatur 20 °C och vatteninnehåll 6, 7, 8, 9 och 10 g/kg, kombinerat med utluftstillstånd med temperatur (-20, -19, -18 upptill 10) °C och relativ luftfuktighet (0.5, 0.525, 0.550 upptill 1) -. Den relativa luftfuktigheten för frånluften är med stigande vatteninnehåll 0.408, 0.476, 0.544, 0.612 respektive 0.68 och motsvarande daggpunktstemperatur 6.6, 8.7 10.7 12.4 respektive 14.0 °C. Antalet beräkningsfall är 651 st. Beräkning sker med basfallet med varvtal 10 /min eller periodtid 6 s och för endast fem varv eller perioder.

Alla redovisning av olika variabler görs med samma isodiagram med relativ luftfuktighet som x-axel och utetemperatur som y-axel samt med en hjälplinje för utetemperaturen 0 °C. Utluftens vatteninnehåll för beräkningsområdet redovisas i Figur 8.1.



Figur 8.1 Utluftens vatteninnehåll för valt beräknings område för utluftens tillstånd.

De fyra variablerna som redovisas är fuktverkningsgraden för tilluft, rotorns fuktupptagningsgrad, rotorns fyllningstid och det fuktillskott som krävas för att upp nå det fastlagda frånluftstillståndet.

Rotorns fuktupptagningsgrad är kvoten mellan en rotorkanals fuktökning och skillnaden i vattenflöde mellan frånluft och uteluft.

Rotorns fyllningstid är kvoten mellan en rotorkanalvolym vattenmassa och en rotorkanals vattentillflöde. De fyra variablerna redovisas i fyra underavsnitt för de sex olika frånluftstillstånden.

De redovisade beräkningarna omfattar endast fem varv eller perioder. Ett fuktöverskott under några få inledande varv eller perioder behöver inte betyda att fuktöverskottet ständigt ökar. Det skulle kunna uppstå någon balans där rotorns vatteninnehåll är konstant och lika med föregående varv eller periods vatteninnehåll.

En kontroll har gjorts med ett stort antal varv eller perioder med mättad uteluft vid 0 °C och ett frånluftstillstånd, temperatur 20 °C och vatteninnehåll 10 g/kg för modeller med 10, 20, 50 och 100 element och för motsvarande antal varv eller perioder om 6000, 1200, 600 respektive 150.

Rotorns uppfuktningen var linjär i samtliga fall och hastigheten redovisas i Tabell 8.1 nedan för en rotorkanal, vars volym med vatten väger 628.32 mg. Siffrorna visar att uppfuktningshastigheten ökar med antalet beräkningselement.

Förklaringen är att en finare uppdelning i fler element ger en temperaturprofil med större variation mellan lägsta och högsta temperatur. Detta medför att kondensering lättare kan ske. Extremfallet med ett enda element kan vara helt utan kondensering, eftersom den enda rotortemperatur lätt kan vara högre än frånluftens daggpunkt och redan en uppdelning i två element kan innebära kondens.

Tabell 8.1 Rotorns uppfuktningshastighet och fyllningstid

antal celler	antal perioder	driftstid h	uppfuktning mg/h	fyllningstid h
10	6000	10	3.0925	203.2
20	1200	2	3.3690	186.5
50	600	1	3.5480	177.1
100	150	0.25	3.8125	164.8

En anmärkning är att fuktöverskottet inte behöver vara jämnt fördelat i rotorkanalen. Detta medför att rotorkanalen kan sättas igen lokalt innan fyllningstiden uppnåtts. Fyllningstiden skall därför tolkas som en övre ideal gräns.

En annan anmärkning är att beräkningsmodellen inte tar hänsyn till den ackumulerade vattenmassa, vilket är en brist. Vattenmassans värmelagringsförmåga är klart större än rotorkanalens dito, vattenfilmens medeltjocklek är en fjärdedel av rotormaterialets tjocklek. Notera att rotormaterialet delas mellan två rotorkanaler.

Fuktverkningsgrad

Fuktverkningsgraden redovisas med isodiagram i Figur 8.2-6 för de fem frånluftstillstånden med temperatur 20 °C och vatteninnehåll 6, 7, 8, 9 och 10 g/kg. Fuktverkningsgraden för tilluften η_{xt} beräknas som följer:

$$\eta_{xt} = (x_t - x_u) / (x_f - x_u) \quad (-) \quad (8.1)$$

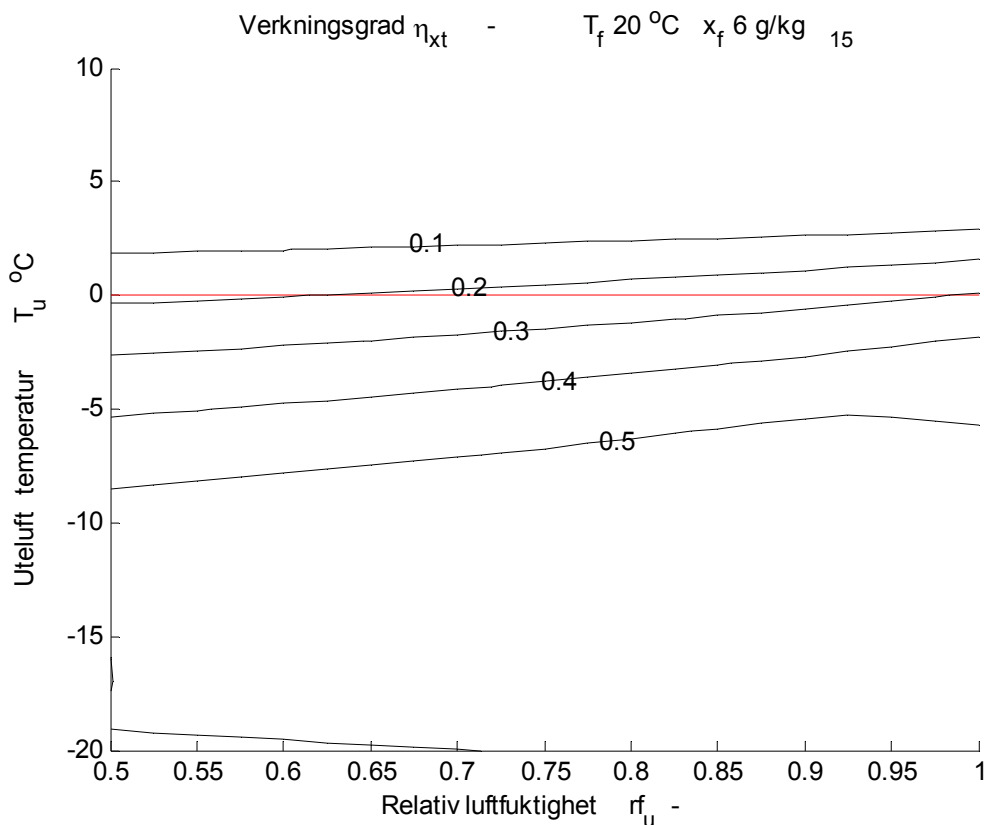
där

η_{xt}	fuktverkningsgrad för tilluft, -
x_t	vatteninnehåll för tilluft, g/kg
x_f	vatteninnehåll för frånluft, g/kg
x_u	vatteninnehåll för uteluft, g/kg

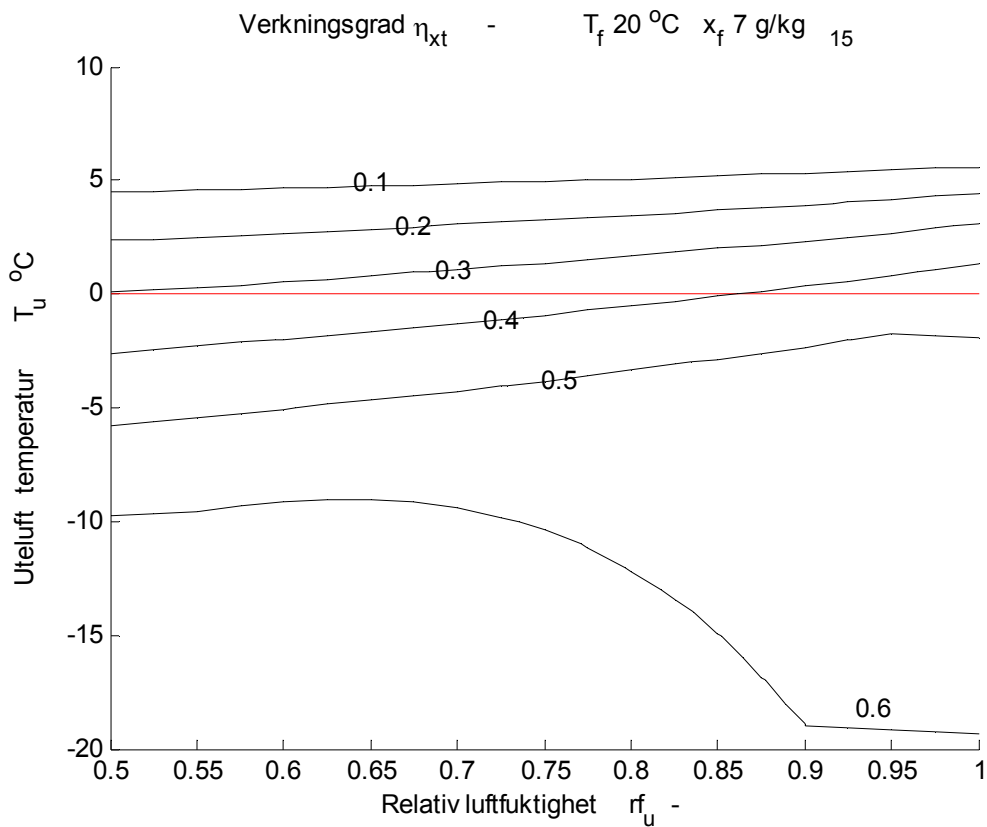
Fuktverkningsgraden ökar med sjunkande utetemperatur.

Fuktverkningsgraden är nästan oberoende av uteluftens relativa luftfuktighet.

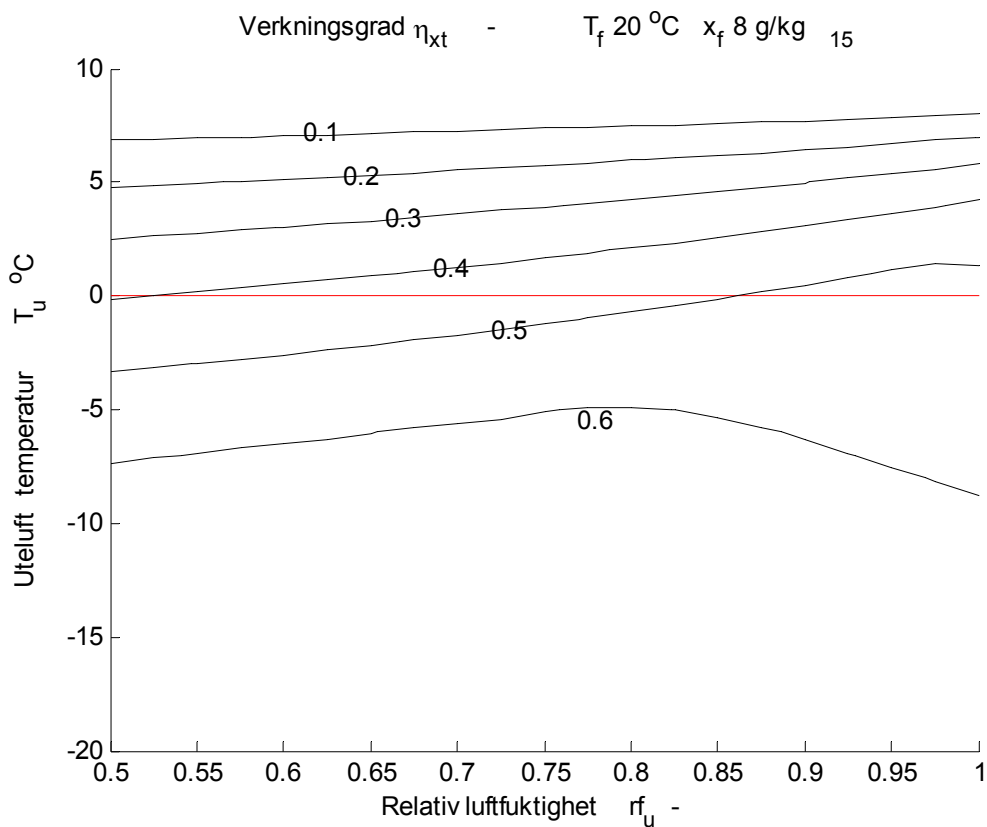
Fuktverkningsgraden ökar med ökande vatteninnehåll för frånluften.



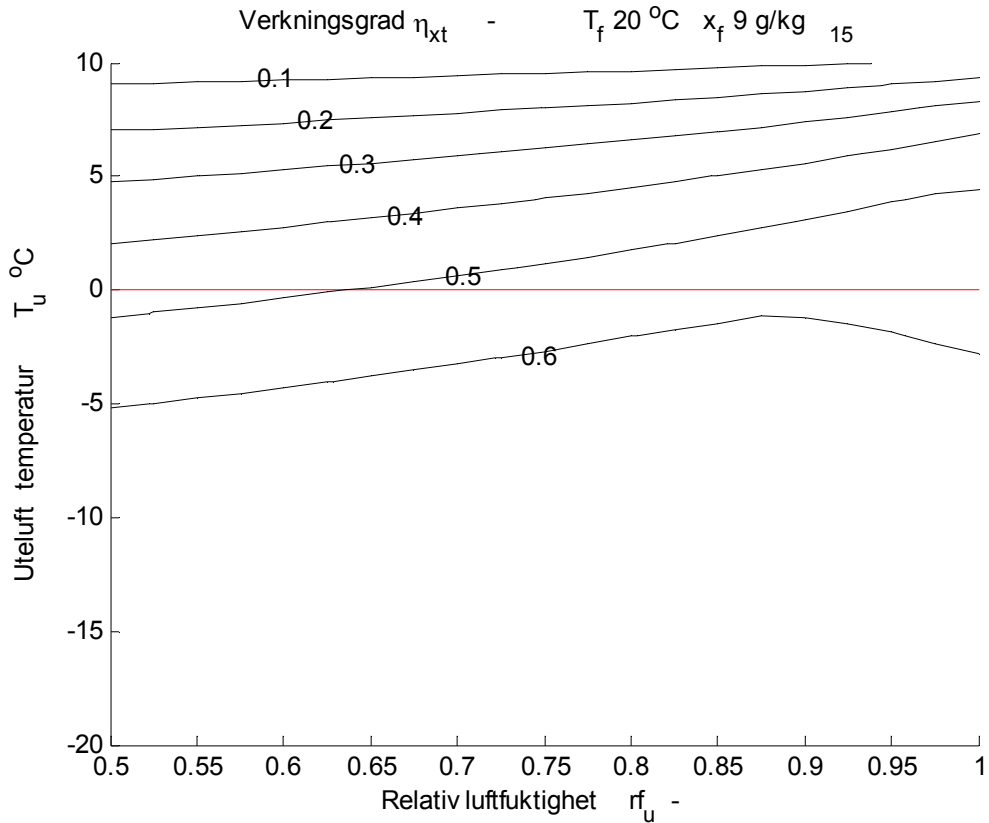
Figur 8.2 Fuktverkningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 6 g/kg.



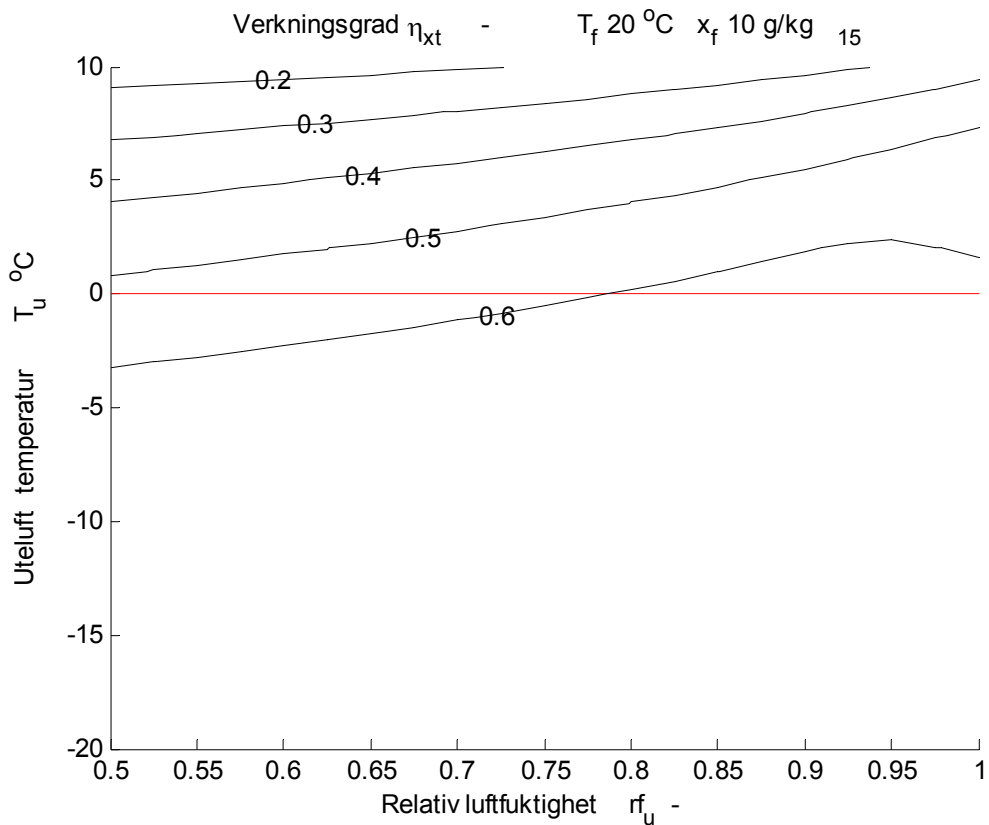
Figur 8.3 Fuktverkningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 7 g/kg.



Figur 8.4 Fuktverkningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 8 g/kg.



Figur 8.5 Fuktverkningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 9 g/kg.



Figur 8.6 Fuktverkningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 10 g/kg.

Fukttillskott

Fukttillskottet redovisas med isodiagram i Figur 8.7-11 för de fem frånluftstillstånden med temperatur 20 °C och vatteninnehåll 6, 7, 8, 9 och 10 g/kg. Fukttillskottet Δx för att uppnå ett givet vatteninnehåll i frånluften för ett givet uteklimat beräknas som:

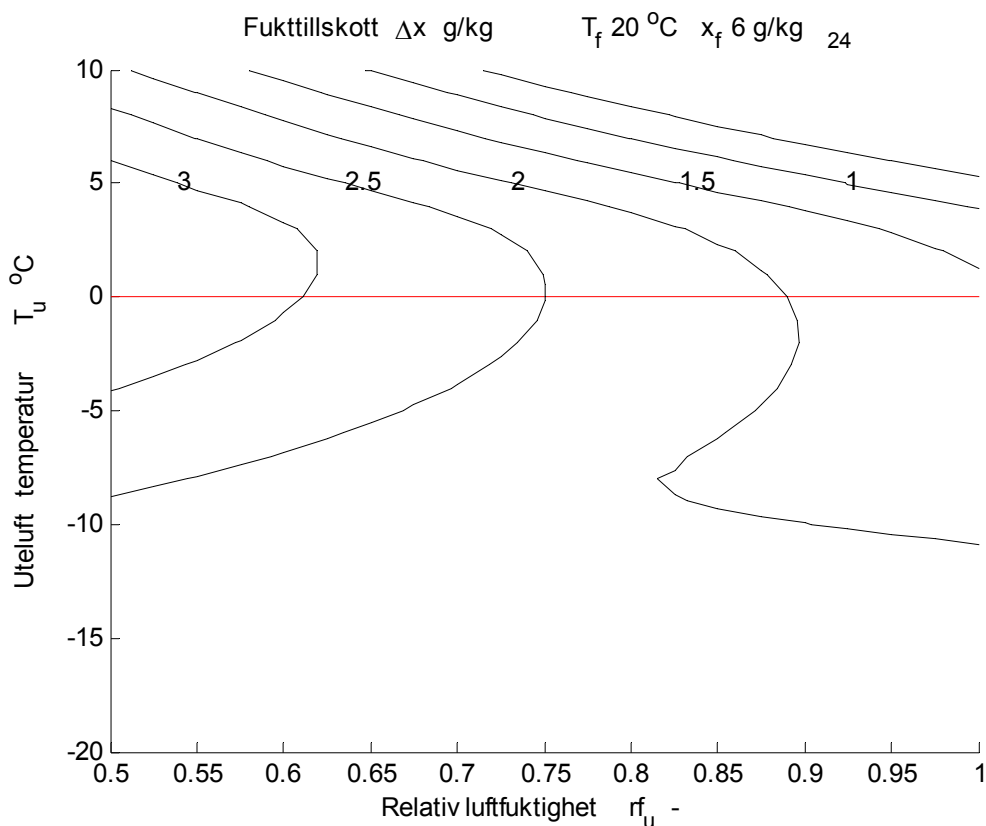
$$\Delta x = (1 - \eta_{xt}) (x_f - x_u) \quad (-) \quad (8.2)$$

där

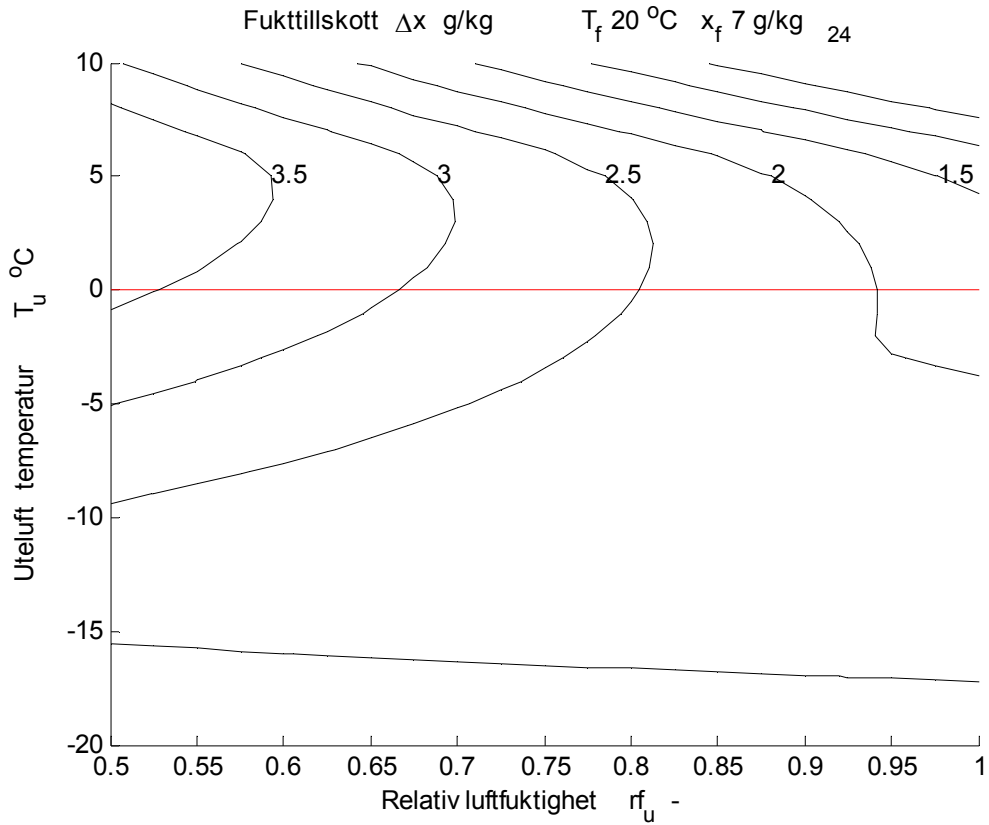
Δx	fukttillskott g/kg
η_{xt}	fuktverkningsgrad för tilluft, -
x_f	vatteninnehåll för frånluft, g/kg
x_u	vatteninnehåll för uteluft, g/kg

Samtliga diagrams isolinjer för fukttillskott i Figur 8.7-11 är likartade. Fukttillskottet enligt (8.2) är en produkt av två faktorer, nämligen $(1 - \eta_{xt})$ och $(x_f - x_u)$. Den första faktorn kan utläsas från Figur 8.2-6, som ökar med ökande utetemperatur. Den andra faktorn fås med hjälp av Figur 8.1, som ökar med sjunkande utetemperatur och sjunkande relativ luftfuktighet.

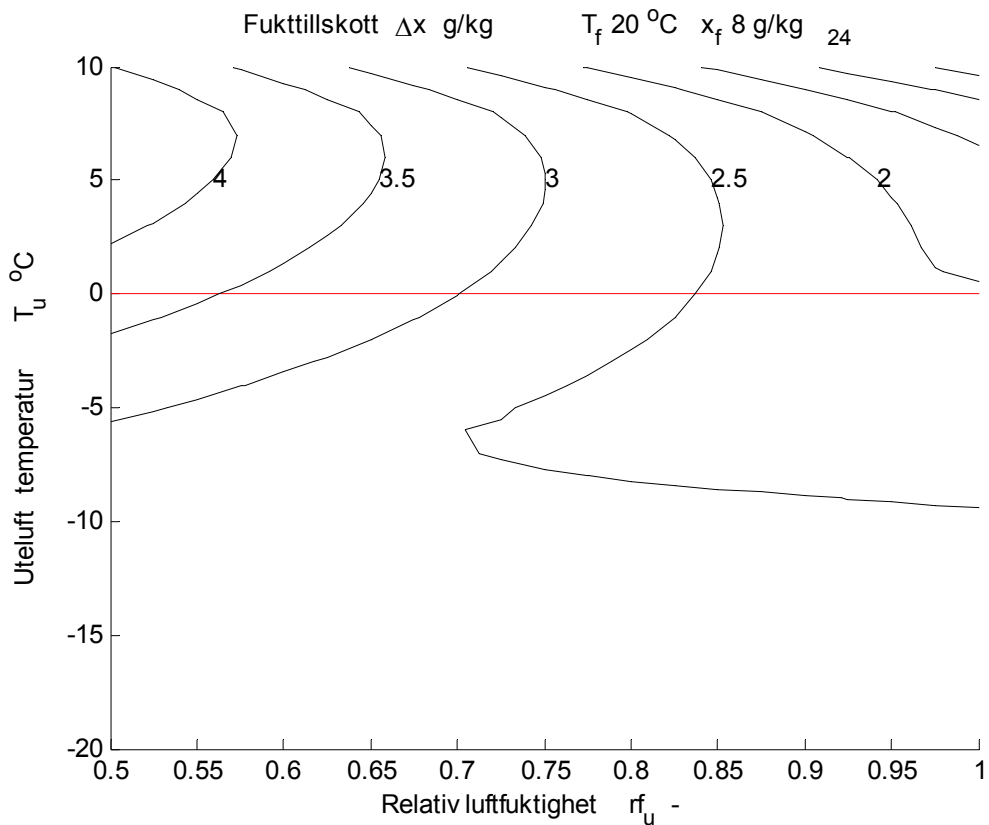
En slutsats är att det nödvändiga fukttillskottet för utetemperaturer över 0 °C ökar med sjunkande relativ luftfuktighet för uteluften och ökar med minskande utetemperatur, vilket i båda fallen beror på uteluftens vatten innehåll som har redovisats i Figur 8.1.



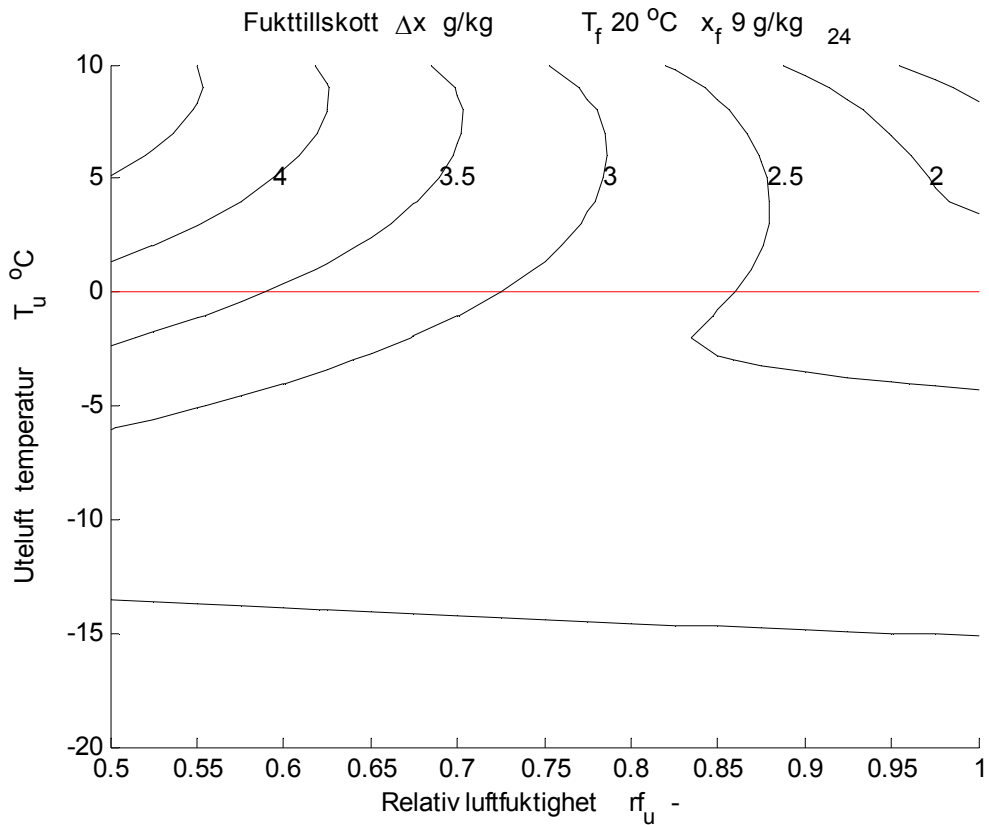
Figur 8.7 Fukttillskott som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 6 g/kg.



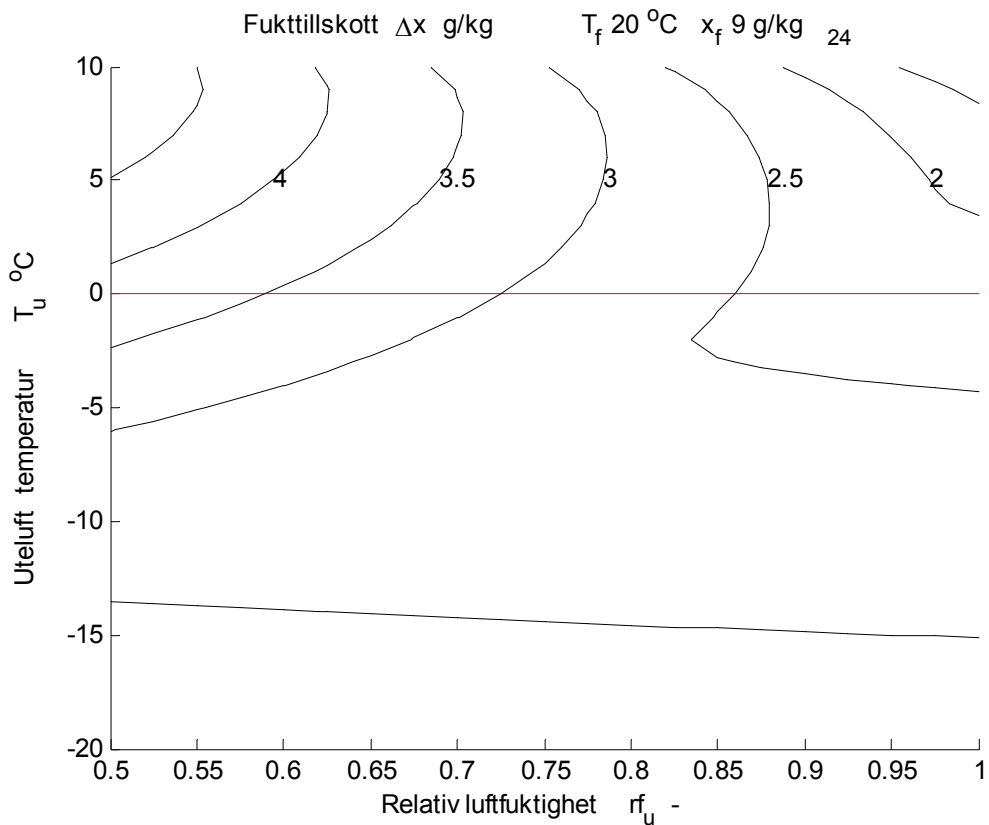
Figur 8.8 Fukttillskott som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 7 g/kg.



Figur 8.9 Fukttillskott som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 8 g/kg.



Figur 8.10 Fukttillskott som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 9 g/kg.



Figur 8.11 Fukttillskott som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 10 g/kg.

Uppfuktningsgrad

Rotorns uppfuktningsgrad redovisas med isodiagram i Figur 8.12-16 för de fem frånluftstillstånden med temperatur 20 °C och vatteninnehåll 6, 7, 8, 9 och 10 g/kg.

Rotorns uppfuktningsgrad η_{xr} beräknas med hjälp av tidsderivatan för rotorvatten dm/dt som:

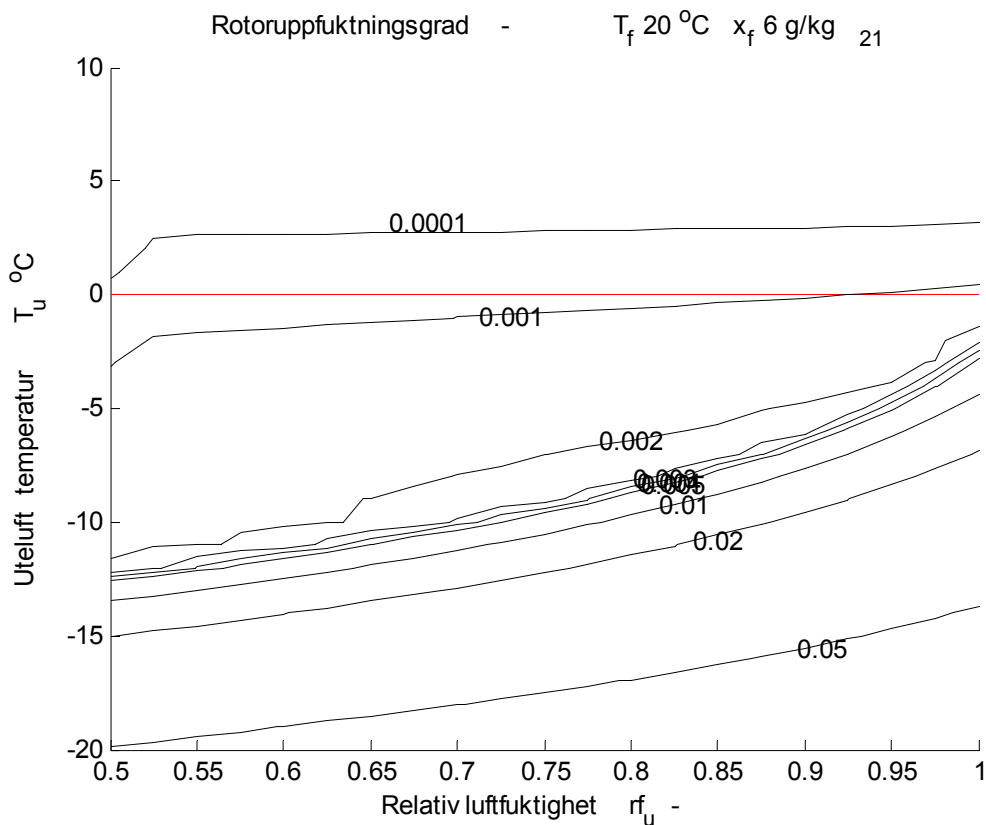
$$\eta_{xr} = dm/dt / \rho q (x_f - x_u) \quad (-) \quad (8.3)$$

$$dm/dt = (m(t+p) - m(t)) / p \quad (\text{kg/s}) \quad (8.4)$$

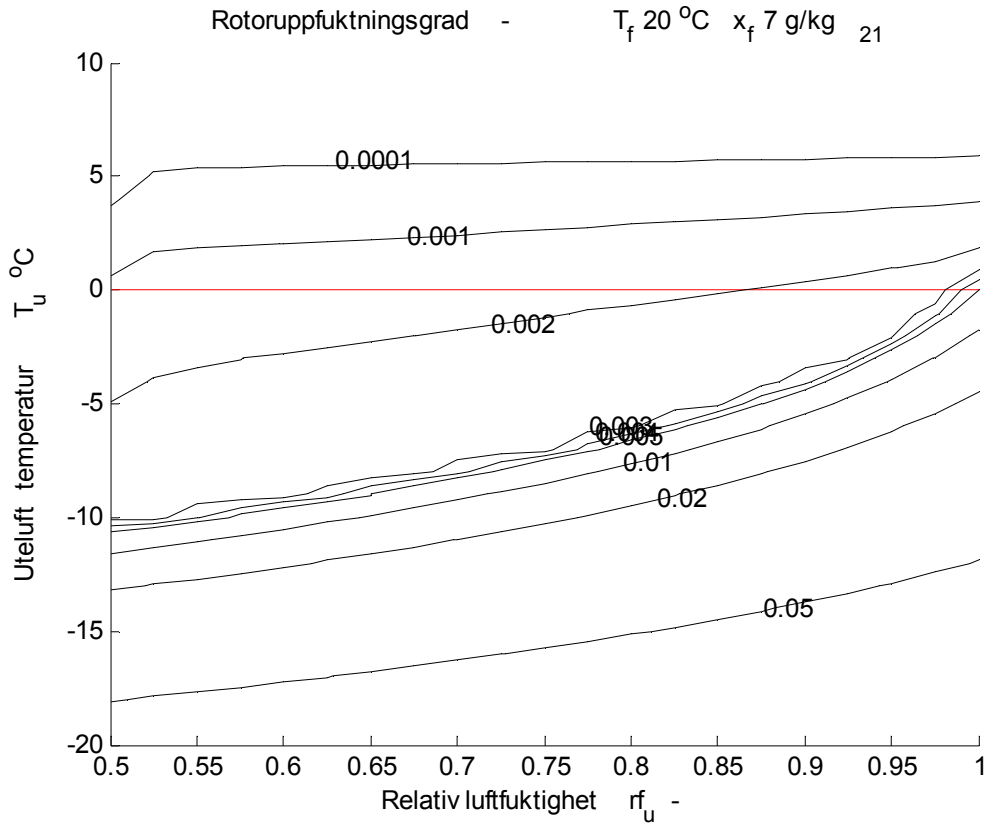
där

η_{xr}	uppfuktningsgrad för rotor, -
$m(t)$	rotorvatten tid tiden t , g
p	periodtid, s
ρq	luftmassflöde, kg/s
x_f	vatteninnehåll för frånluft, g/kg
x_u	vatteninnehåll för uteluft, g/kg

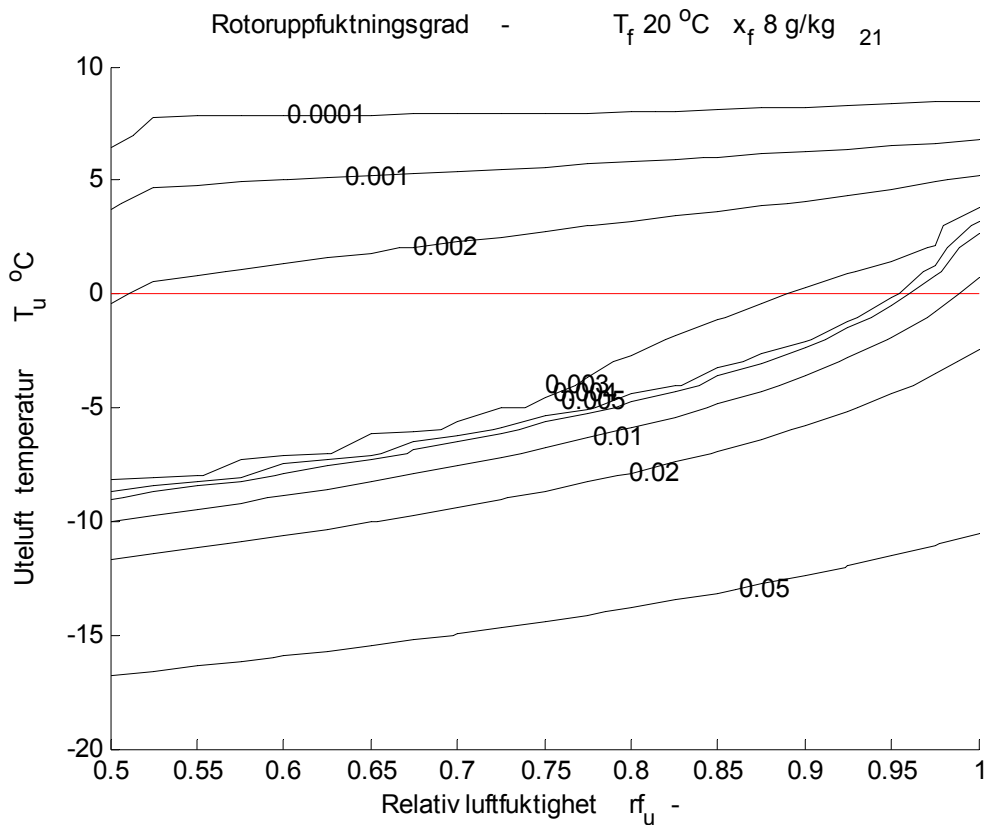
Samtliga diagrams isolinjer i Figur 8.12-16 visar att rotorns uppfuktningsgrad ökar med sjunkande utetemperatur, ökar med ökande relativ luftfuktighet för uteluft och ökar med ökande vatteninnehåll för frånluft.



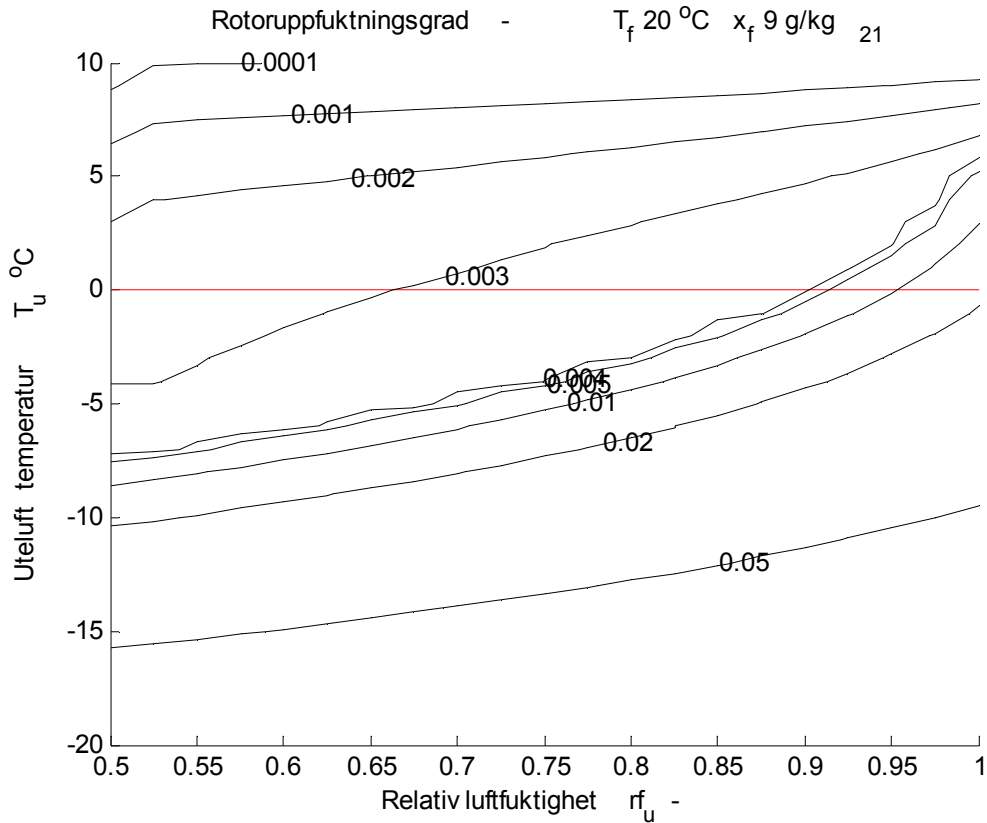
Figur 8.12 Uppfuktningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimate 20 °C och 6 g/kg.



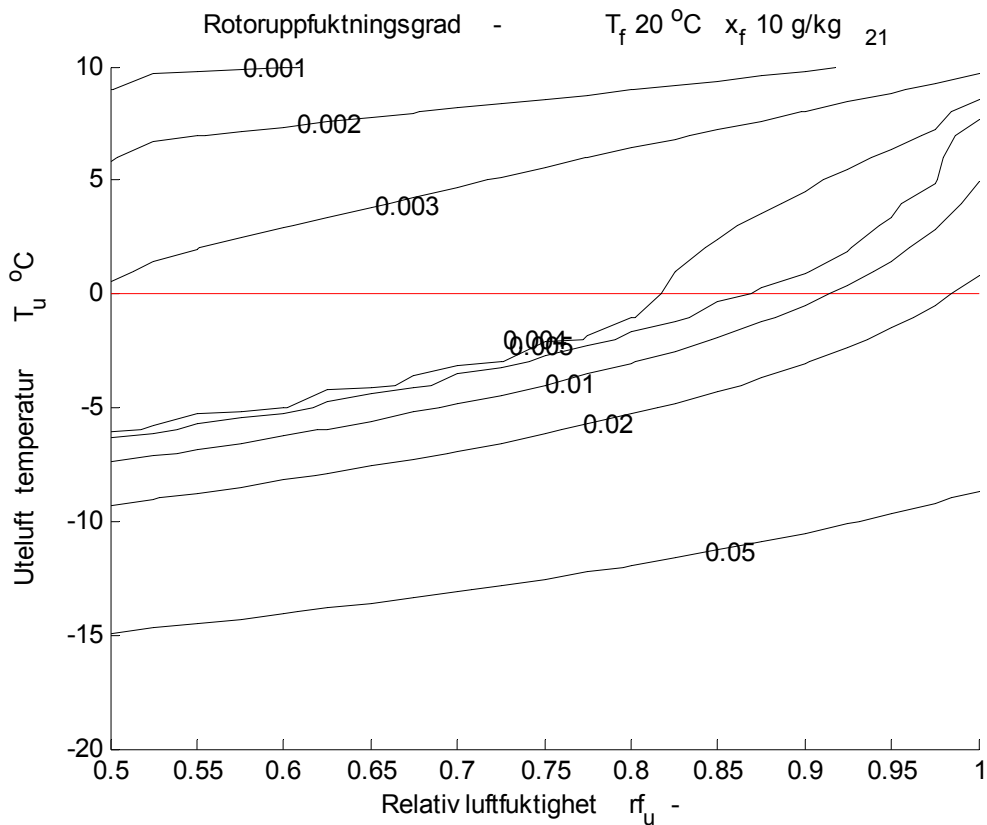
Figur 8.13 Uppfuktningegrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 7 g/kg.



Figur 8.14 Uppfuktningegrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 8 g/kg.



Figur 8.15 Uppfuktningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 9 g/kg.



Figur 8.16 Uppfuktningsgrad som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 10 g/kg.

Fyllningstid

Rotorns fyllningstid t_r redovisas med isodiagram i Figur 8.17-21 för de fem frånluftstillstånden med temperatur 20 °C och vatteninnehåll 6, 7, 8, 9 och 10 g/kg samt beräknas som:

$$t_r = m_k / [\rho q (x_f - x_u) \eta_{xr}] \quad (-) \quad (8.5)$$

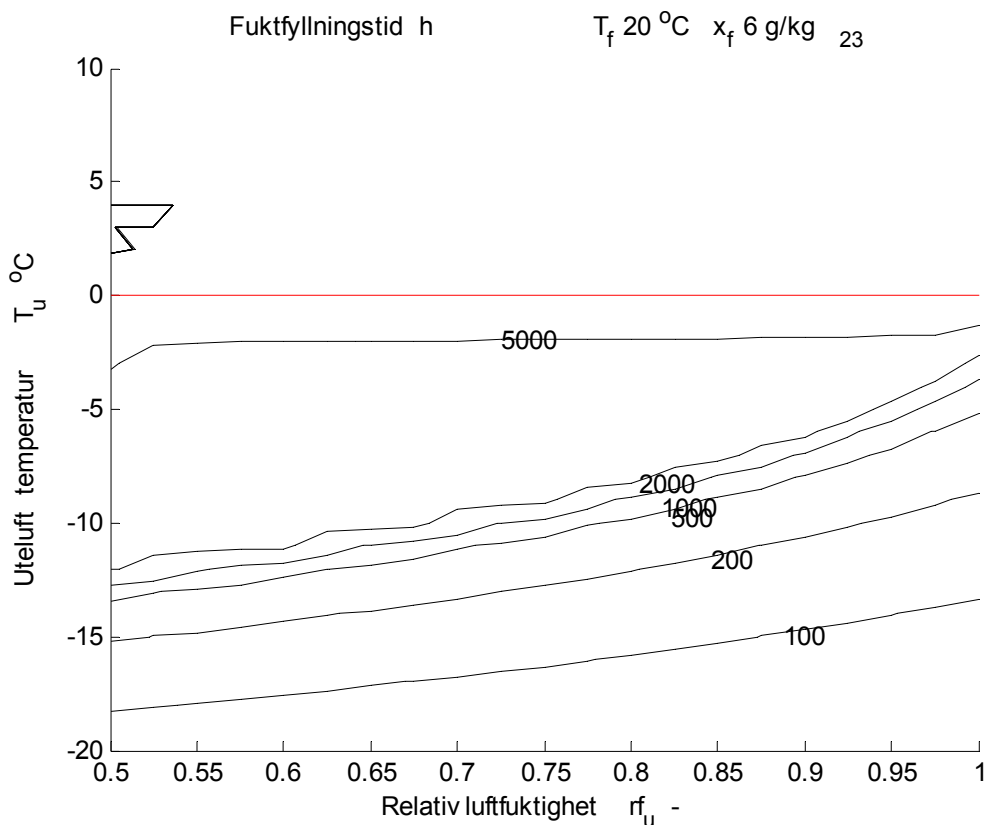
där

m_k	vattenmassa för rotorkanalvolym, g
η_{xr}	uppfuktningsgrad för rotor, -
ρq	luftmassflöde, kg/s
x_f	vatteninnehåll för frånluft, g/kg
x_u	vatteninnehåll för uteluft, g/kg

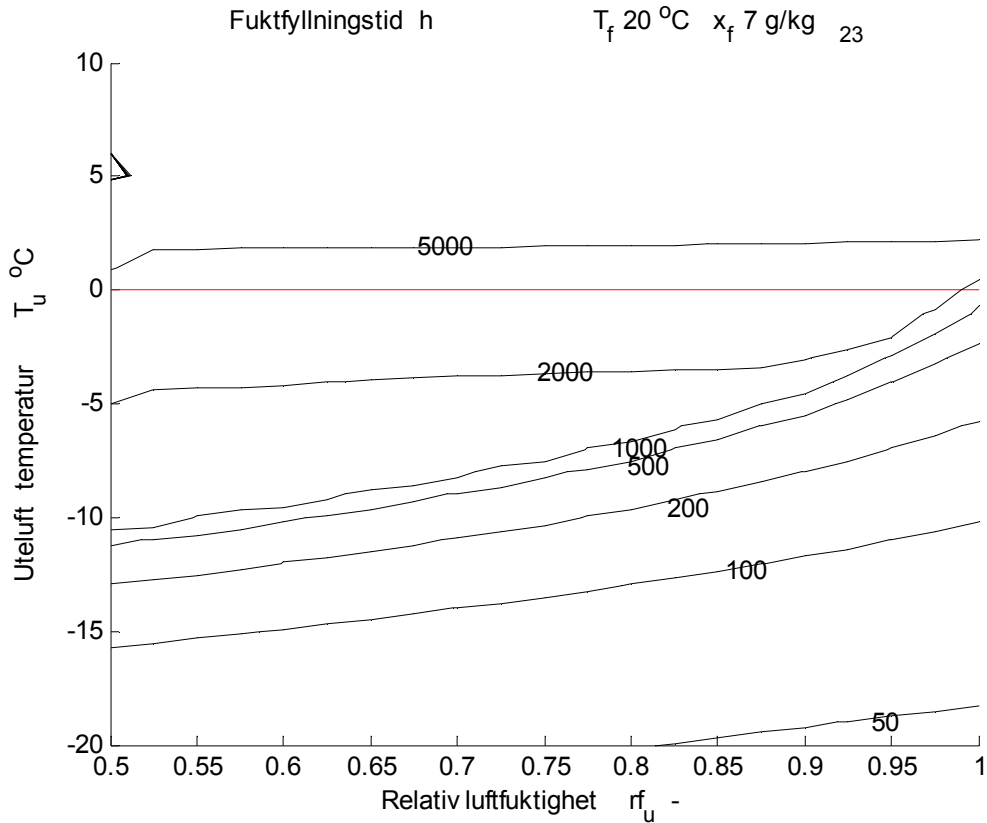
Fyllningstiden är omvänt proportionell mot uppfuktningsgraden och kan därför skrivas om till följande genom att förenkla (8.5) med hjälp av (8.3-4):

$$t_r = m_k / dm/dt \quad (-) \quad (8.6)$$

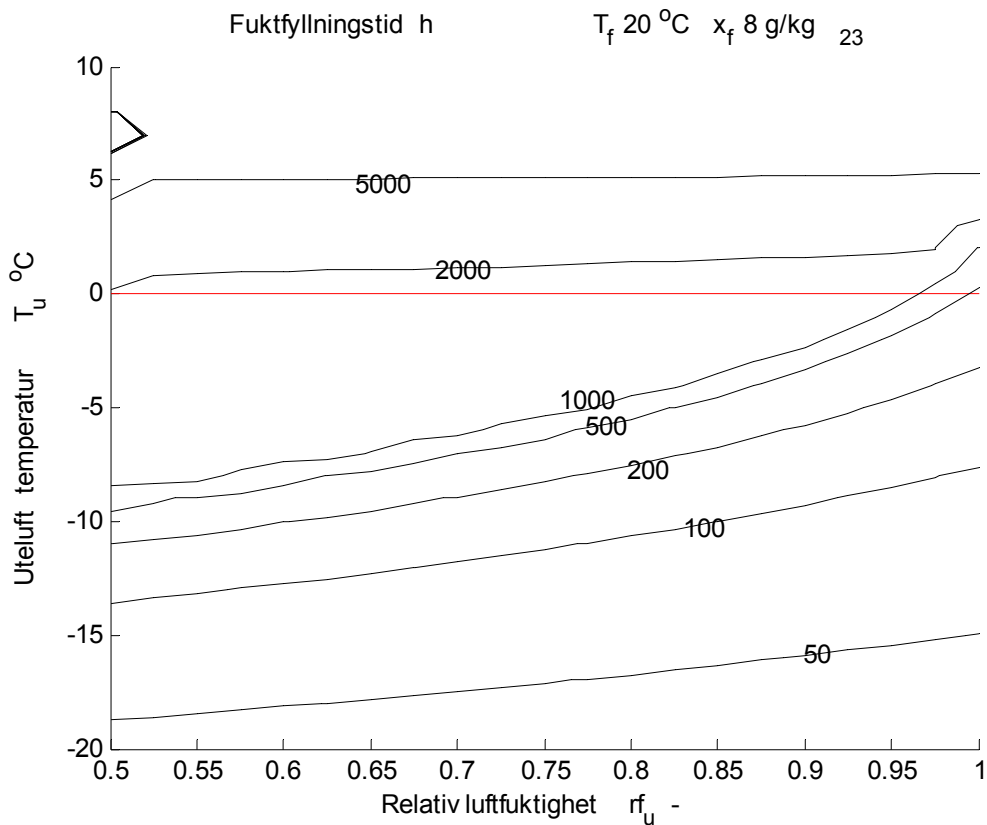
Samtliga diagrams isolinjer i Figur 8.17-21 visar att rotorns fyllningstid minskar med sjunkande utetemperatur, minskar med ökande relativ luftfuktighet för uteluft och minskar med ökande vatteninnehåll för frånluft. Konstigheterna för låg relativ luftfuktighet och utetemperatur över 0 °C lämnas utan förklaring.



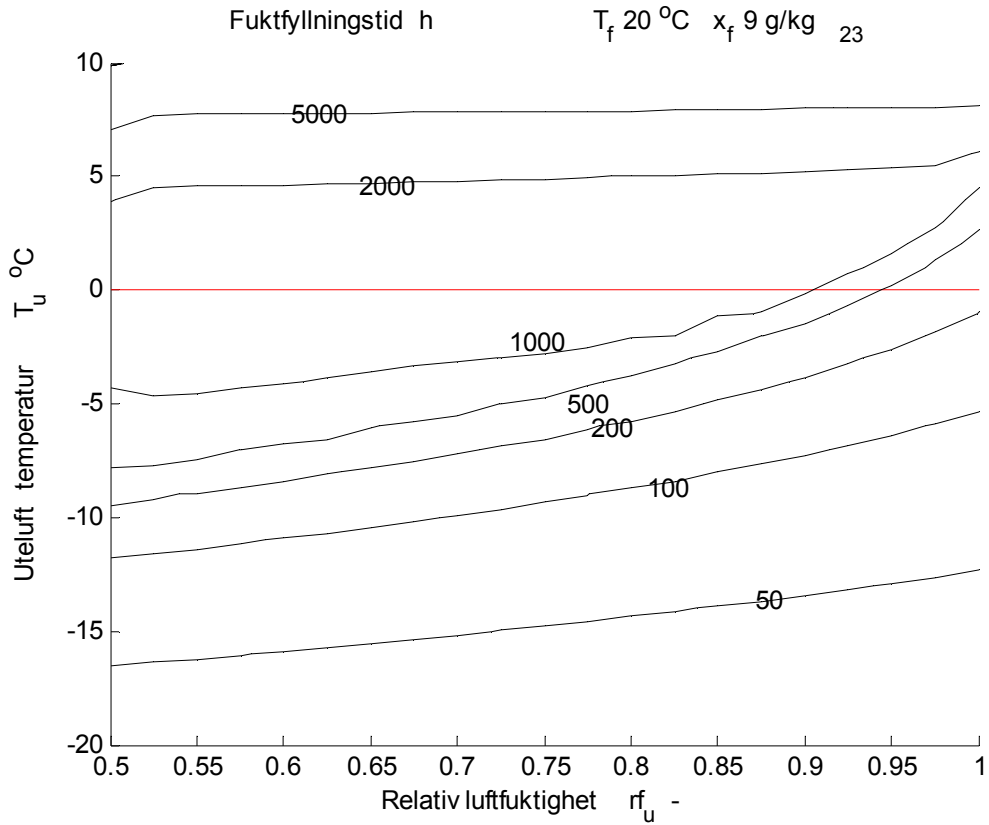
Figur 8.17 Fyllningstid som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 6 g/kg.



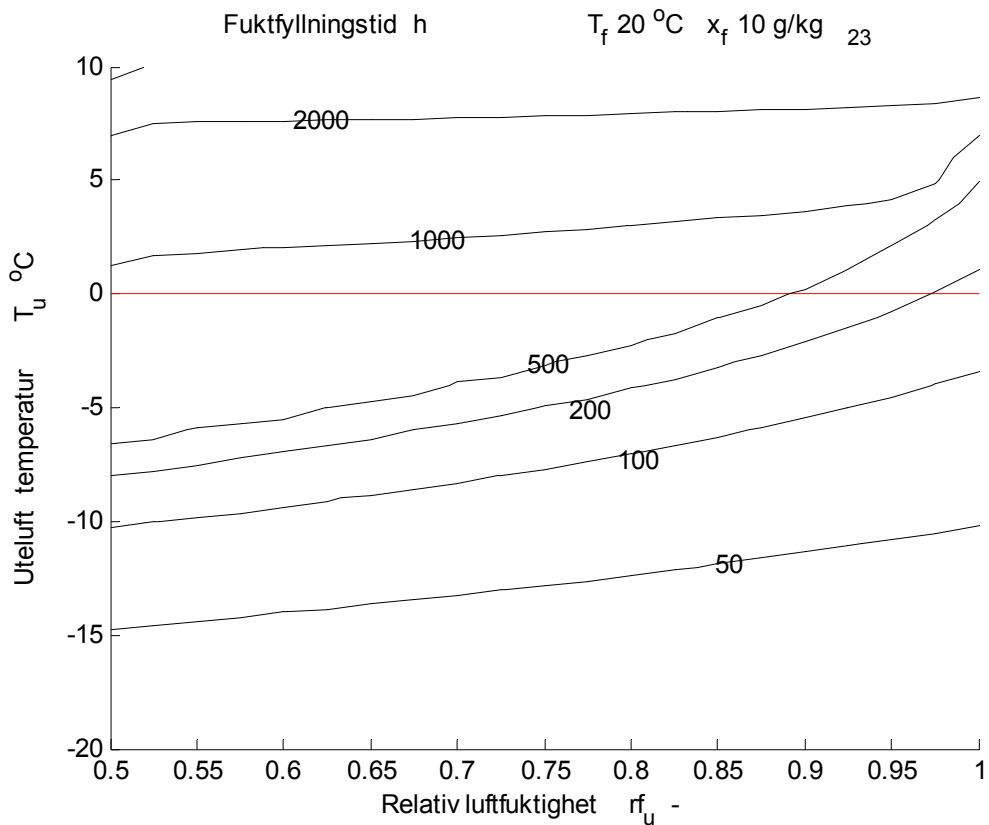
Figur 8.18 Fyllningstid som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 7 g/kg.



Figur 8.19 Fyllningstid som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 8 g/kg.



Figur 8.20 Fyllningstid som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 9 g/kg.



Figur 8.21 Fyllningstid som funktion av uteklimat och inneklimat 20 °C och 10 g/kg.

9 Avslutning och slutsatser

Reglering med både varvtal och lufthastighet eller luftflöde har redovisats i avsnitt 4-7 för frånlufttillstånden 7-10 g/kg. Vilket regelsätt som kräver minsta tillsatsvärme för att klara av ett givet fuktillskott och att hålla ett givet vatteninnehåll i frånluften redovisas här. Om isolinjer för fuktillskott i Figur 4-7.4 undersöks visar det sig att de är snarlika isolinjer för tillsatsvärme i Figur 4-7.6. Detta innebär att regelsättet inte påverkar tillsatsvärmens betydligt. Hur stor eller liten betydelsen av regelsätt är, kan undersökas genom att bilda kvoten mellan relativ tillsatsvärme i Figur 4-7.6 och fuktillskott i Figur 4-7.4. Relativ tillsatsvärme avser basfallets tillsatsvärmebehov. Denna kvot redovisas i Figur 9.1-4 för reglering till frånluftsvatteninnehåll 7, 8, 9 respektive 10 g/kg.

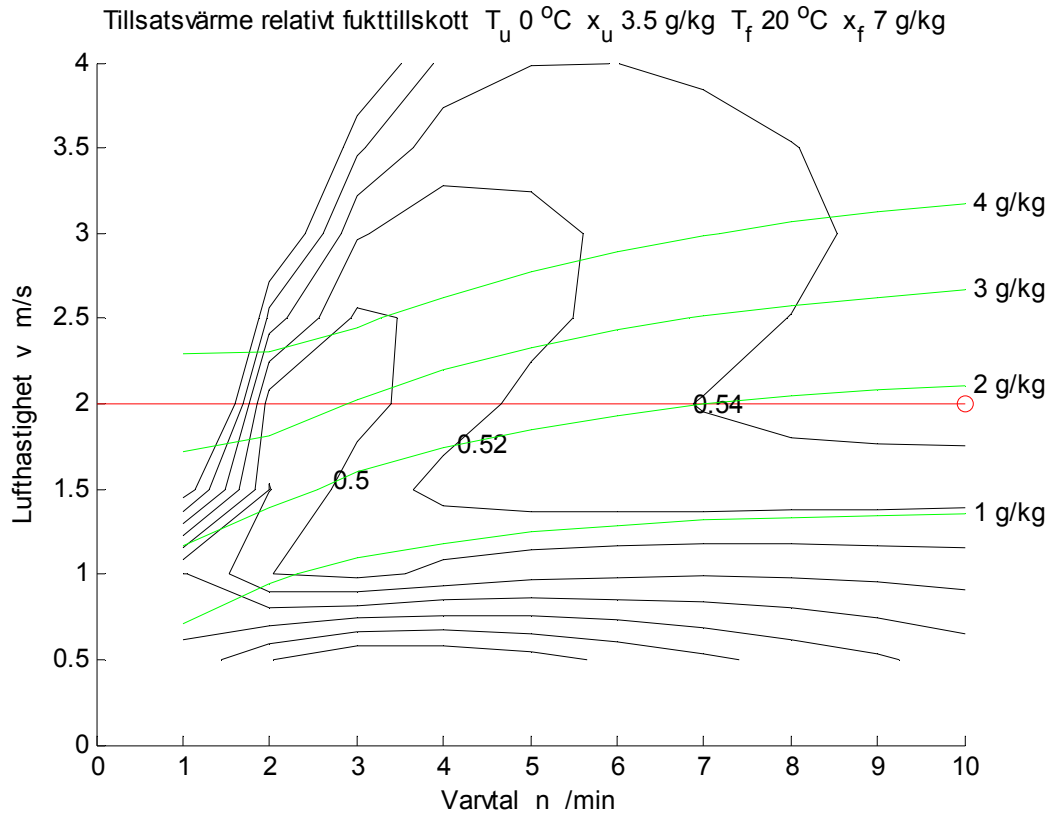
Isolinjerna för kvoten mellan tillsatsvärme och fuktillskott skiljer sig inte mycket åt. Notera att jämförelse skall ske längs isolinjer för ett givet fuktillskott. Isolinjerna för fuktillskott 1, 2, 3 och 4 g/kg finns inritade i Figur 9.1-4 för att lättare kunna finna vad som är bästa regelsätt som kräver lägsta tillsatsvärme för ett givet fuktillskott.

Fuktreglering kan i teorin ske med både reglering av varvtal och luftflöde samtidigt för ett givet fuktillskott och för att hålla ett givet vatteninnehåll i frånluften/rumsluften. Detta är knappast möjligt att genomföra i praktiken, eftersom det krävs en modell som bestämmer överens med verkligheten. En annan svårighet är att fuktillskottet ändras ständigt och att det sker en viss ackumulering i den ventilerade volymen, inredning och rumsytor. Det här redovisade regelsättet får mer ses som en demonstration av vad som kan uppnås i ett idealt fall.

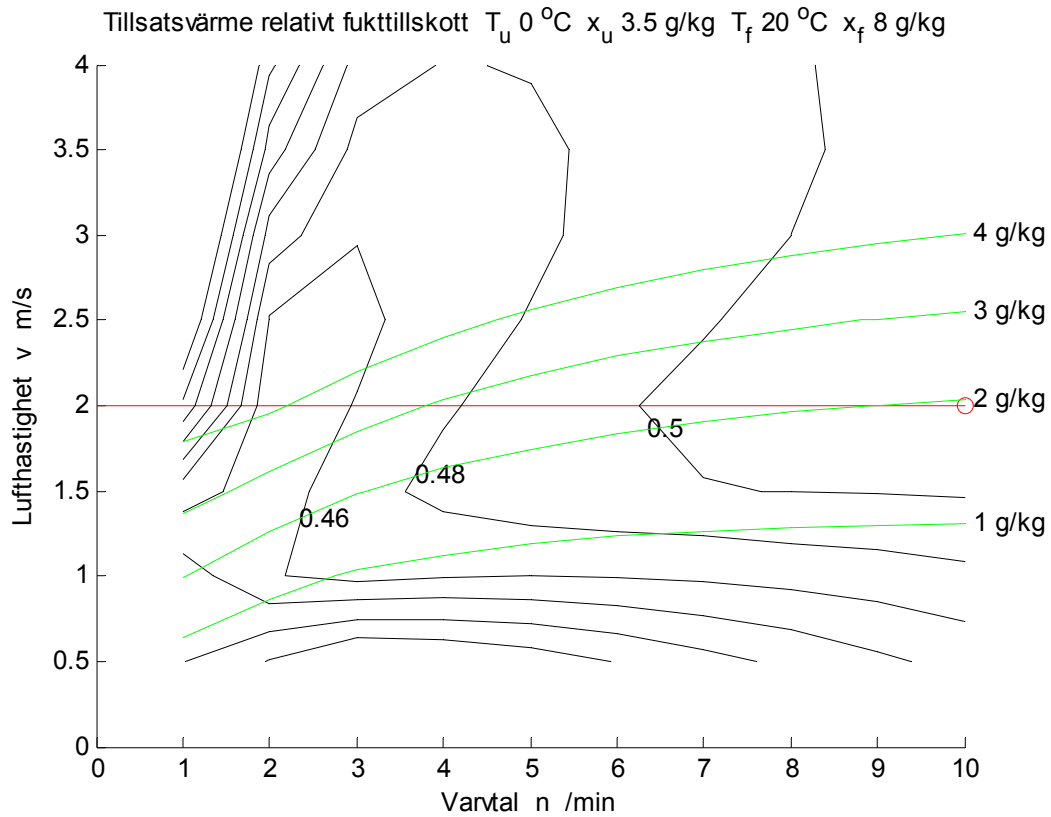
Detta ideala regelsätt kan förenklas till konstant varvtal lika med basfallets 10 /min, vilket medför en mindre ökning av tillsatsvärmebehovet i förhållande till det ideala regelsättet. Lägre fuktillskott än 2 g/kg klaras enkelt av med luftflöden lägre än basfallets luftflöde.

Det ideala regelsättet kan också förenklas till konstant luftflöde lika med basfallets 2 m/s, vilket endast medför en mindre ökning av tillsatsvärmebehovet i förhållande till det ideala regelsättet för fuktillskott högre än 2 g/kg. Fuktillskott lägre än 2 g/kg kan bara regleras med lägre luftflöden än basfallets. Detta innebär att om fuktillskottet är 1 g/kg kommer fuktregleringen efter varvtal att arbeta med fullt varvtal 10 /min och frånluftens vatteninnehåll kommer att vara lägre än regleringens börvärde på till exempel 7 g/kg. En slutsats är därför att reglering med varvtal är mer begränsad än reglering med luftflöde om uppgiften är att endast hålla ett givet vatteninnehåll i frånluften/rumsluften.

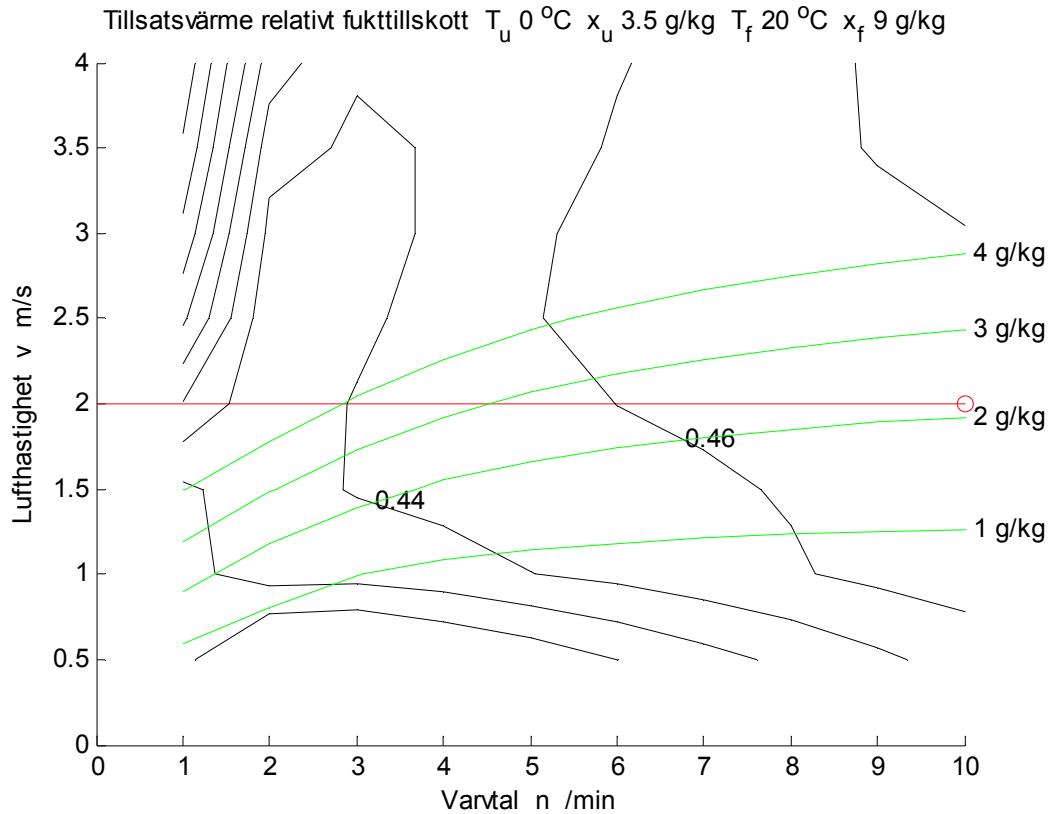
Fuktöverskott av vatten i rotorn har redovisats som funktion av olika ute- och inneklimat i avsnitt 8. En motsvarande ideal fyllningstid har också beräknats, vilken kan vara några hundra timmar för utetemperaturer under 0 °C och hög relativ luftfuktighet. En viktig anmärkning är att vattenansamling inte behöver ske jämnt fördelat i rotorn. Fyllningstiden är därför en överskattning. En ändring av rotorkanalens diameter med en faktor $f < 1$ och samma luftflöde ökar lufthastigheten med en faktor f^{-2} och ökar rotorns tryckfall en faktor f^{-3} . Värdet 0.8 för f fördubblar tryckfallet. En slutsats är att fuktöverskott i rotorn inte kan försummas.



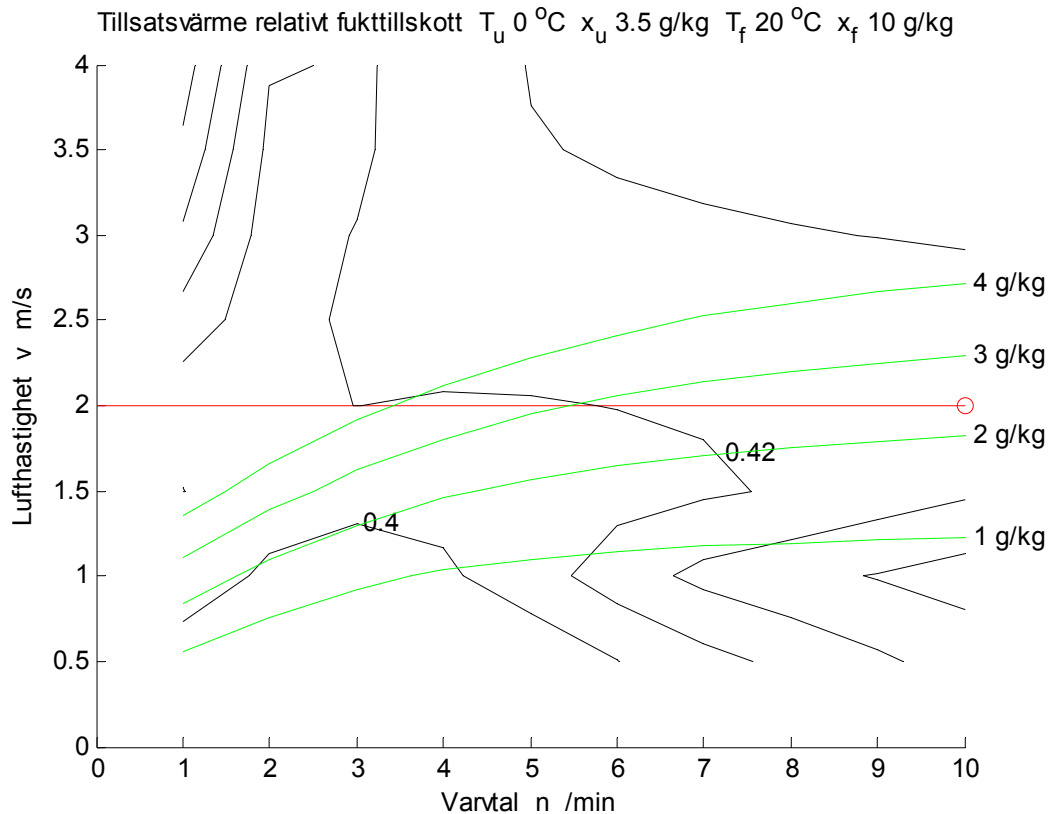
Figur 9.1 Kvoten mellan relativt tillsatsvärme och fukttillskott för x_f 7 g/kg.



Figur 9.2 Kvoten mellan relativt tillsatsvärme och fukttillskott för x_f 8 g/kg.



Figur 9.3 Kvoten mellan relativt tillsatsvärme och fukttillskott för x_f 9 g/kg.



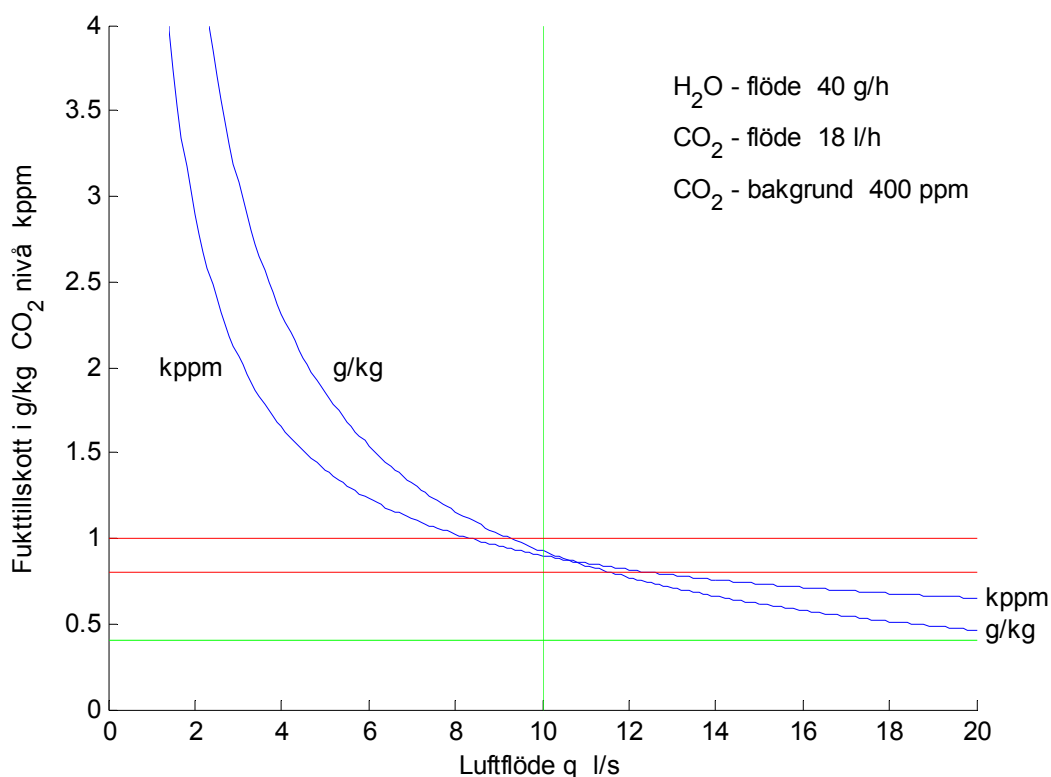
Figur 9.4 Kvoten mellan relativt tillsatsvärme och fukttillskott för x_f 10 g/kg.

Fuktreglering med luftflödet för att hålla ett givet vatteninnehåll i ineluften innebär att luftflödet anpassas främst efter fukttillskottet. Om fukttillskottet är noll skulle ventilationen kunna vara noll eller avstängd. Luftkvaliteten kan bli vad som helst beroende på olika emissioner från människor, inredning och byggnadsmaterial. En människa avger ständigt vattenånga minst 40 g/h. Detta innebär att fuktflödesreglering för ett givet fukttillskott samtidigt kanske resulterar i tillräcklig ventilation för att uppfylla krav på god luftkvalitet. Fukttillskottet från en person i vila om 40 g/h redovisas i Figur 9.5 som funktion ventilationsflödet 0-20 l/s.

Det finns ett krav på CO₂-nivå för att skydda människan mot för dålig luftkvalitet orsakad av människor. Det finns ett medelkrav om 800 ppm och övre gräns om 1000 ppm. En person avger i vila ett CO₂-flöde om 18 l/h, vilket kan räknas om till en CO₂-nivå i kppm som funktion av ventilationsflödet 0-20 l/s för bakgrundsnivån 400 ppm eller 0.4 kppm.

De två kurvorna i Figur 9.5 visar att om fukttillskottet begränsas till 1 g/kg blir CO₂-nivån lägre än det övre gränsvärdet 1000 ppm eller 1 kppm. Om annan fuktillförsel tillkommer medför detta att ventilationen ökar och därmed blir CO₂-nivån ännu lägre. Ett enkelt exempel är att fukttillskottet fördubblas, vilket innebär att ventilationen fördubblas från 9 l/s till 18 l/s. CO₂-nivå sjunker från 900 ppm till 650 ppm. Sänkningen är hälften av skillnaden ner till bakgrundsvärdet på 400 ppm.

Slutsatsen är att fuktflödesreglering i bostäder till ett fukttillskott om 1 g/kg från människor resulterar i en god luftkvalitet med CO-nivåer under den övre gränsen 1000 ppm. Emissioner från inredning och byggnadsmaterial kräver dock alltid ett minsta ventilationsflöde.



Figur 9.5 Ventilationsberoende fukttillskott och CO₂-nivå för en person i vila.