



LUND UNIVERSITY

Fuktregering av regenerativ värmväxling med ventilationsflöde, varvtal eller vädring

Jensen, Lars

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2011). *Fuktregering av regenerativ värmväxling med ventilationsflöde, varvtal eller vädring*. (TVIT; Vol. TVIT-7062). 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 ventilations- flöde, varvtal eller vädring

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT-11/7062



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 direktelvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning 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.

Fuktregering av regenerativ värmeväxling med ventilations- flöde, varvtal eller vädring

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2011
ISRN LUTVDG/TVIT--11/7062--SE(20)

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	Ingen fuktregering	7
3	Fuktregering med ventilationsflöde	9
4	Fuktregering med varvtal	11
5	Fuktregering med ideal vädring	13
6	Fuktregering med intermitterent rotordrift	15
7	Avslutning och slutsatser	19

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 ventilationsflöde, varvtal eller periodtid, vädring eller intermitterent rotordrift för ett givet ute- och innelufttillstånd för olika fuktillskott. Följande tre 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

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.

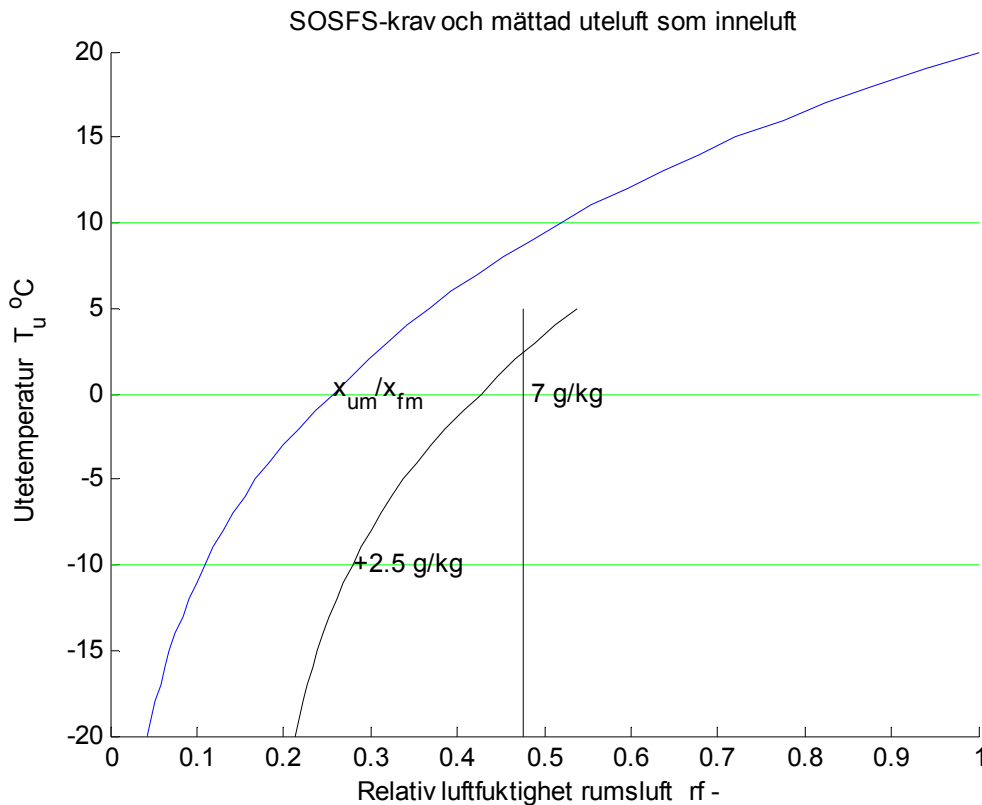
Resultat från dessa arbetsrapporter visade att det fanns behov för att minska fuktöverföringen för att undvika allt för höga fukthalter i bostäder. En möjlighet är att minska rotorns varvtal varvid temperaturverkningsgraden minskar något, medan fuktverkningsgraden minskar betydligt mer. Renblåsning av 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.

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 mätnadstemperaturen är 8.7 °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 °C. Uteluften är vintertid oftast nästan helt mättad. En slutsats är att kravet på uppfuktning med högst 2.5 g/kg är bestämmande för utetemperatur under 0 °C och det absoluta kravet på högst 7 g/kg är bestämmande över 0 °C.



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

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. Det givna frånluftstillståndet är $20 \text{ }^\circ\text{C}$ och 9 g/kg , vilket motsvarar en relativ luftfuktighet på 0.61. Uteluftstillståndet är $0 \text{ }^\circ\text{C}$ och 3.5 g/kg . Beräkningar avser bara det statiska jämviktsfallet. Luften i byggnaden antas vara fullständigt omblandad. Byggnaden förutsätts vara helt tät utan någon infiltration eller exfiltration bortsett från vädring. Fallet utan fuktregering redovisas först i avsnitt 2.

Arbetsrapportens problemställning är undersöka fyra sätt för fuktregering för att hålla ett givet högsta vatteninnehåll för rumsluften och att jämföra vilket sätt som kräver minst tillsatsvärme för godtyckliga fuktillskott. De fyra reglersätten som skall undersökas redovisas i avsnitt 3-6 och de är ventilationsflöde (1) eller lufthastighet genom rotor v , varvtal n (2), vädring (3) med parallellflöde q samt intermitterent rotordrift (4) med relativ drifttid t . Fuktillskottet Δx bestämmer implicit de fyra styrvariablerna v , n , q och t samt för $x_f 9.0 \text{ g/kg}$ från $x_u 3.5 \text{ g/kg}$ enligt (1.1) nedan.

$$\Delta x = (x_f - x_u) (1 + q - \eta_x(v, n) t) v / 2 \quad (\text{g/kg}) \quad (1.1)$$

Fuktverkningsgraden η_x är 0.6 för utgångstillståndet och basfallet, vilket passar för fuktillskottet 2.2 g/kg . Beräkningar av de fyra styrvariablerna v , n , q och t kommer att genomföras för fuktillskott upp till 3 g/kg . Fuktillskottet räknas relativt basfallets ventilationsflöde.

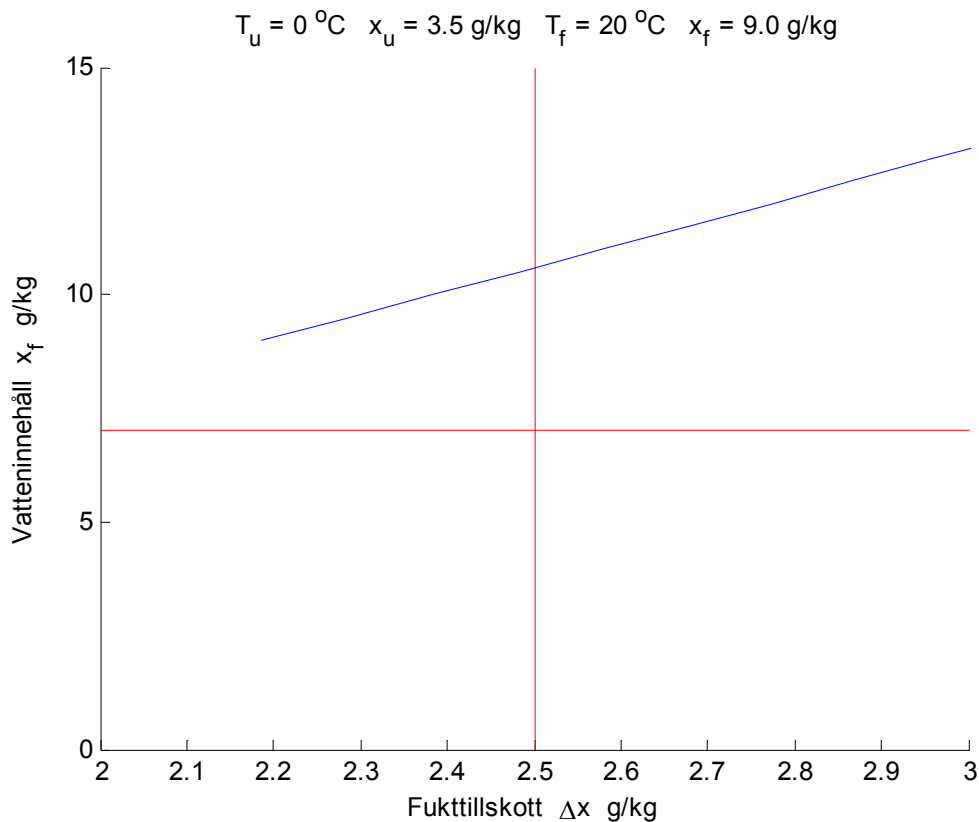
2 Ingen fuktreglering

Fallet utan fuktreglering redovisas i detta avsnitt med frånluftstemperaturen 20 °C och uteluftstillståndet 0 °C och 3.5 g/kg. Frånluftens vatteninnehåll x_f beräknas enligt (2.1) där fuktverkningsgraden η_x är en funktion av både utelufts- och frånluftstillståndet.

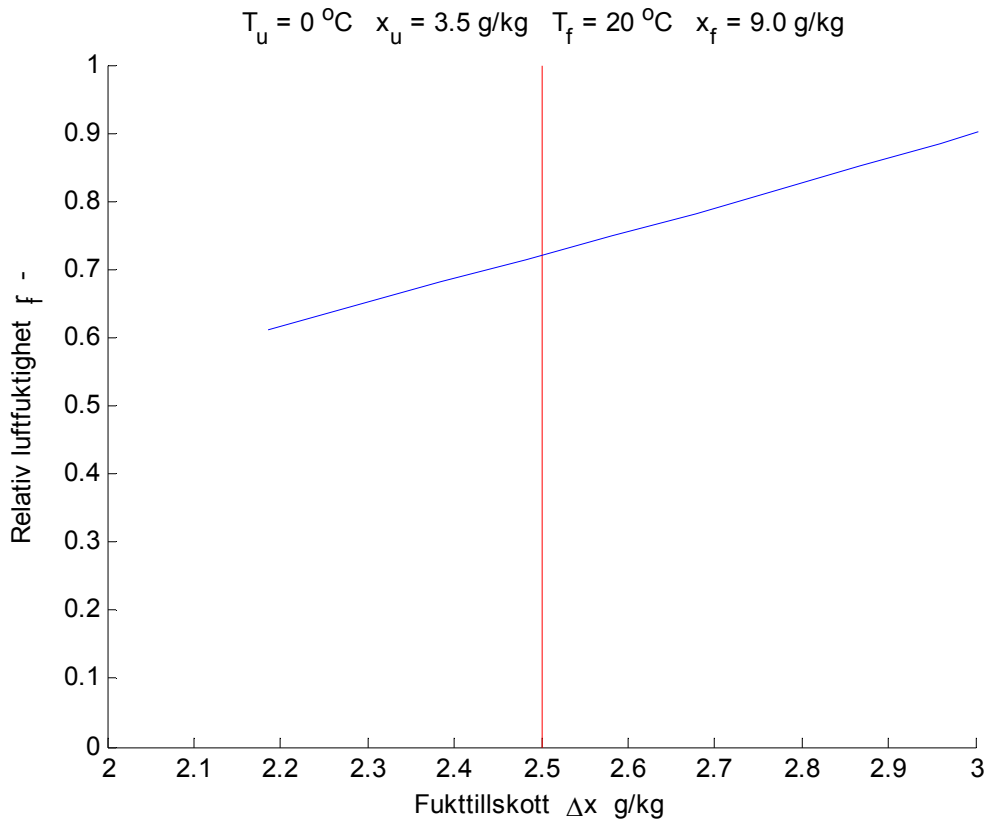
$$x_f = x_u + \Delta x / (1 - \eta_x) \quad (\text{g/kg}) \quad (2.1)$$

Fukttillskottet har ökat från 2.2 till 3 g/kg och resultatet redovisas i Figur 2.1 för frånluftens vatteninnehåll x_f , i Figur 2.2 för frånluftens relativa luftfuktighet r_f och i Figur 2.3 för temperaturverkningsgraden η_T och fuktverkningsgraden η_x . Krav enligt SOSFS har ritats in i Figur 2.1-3.

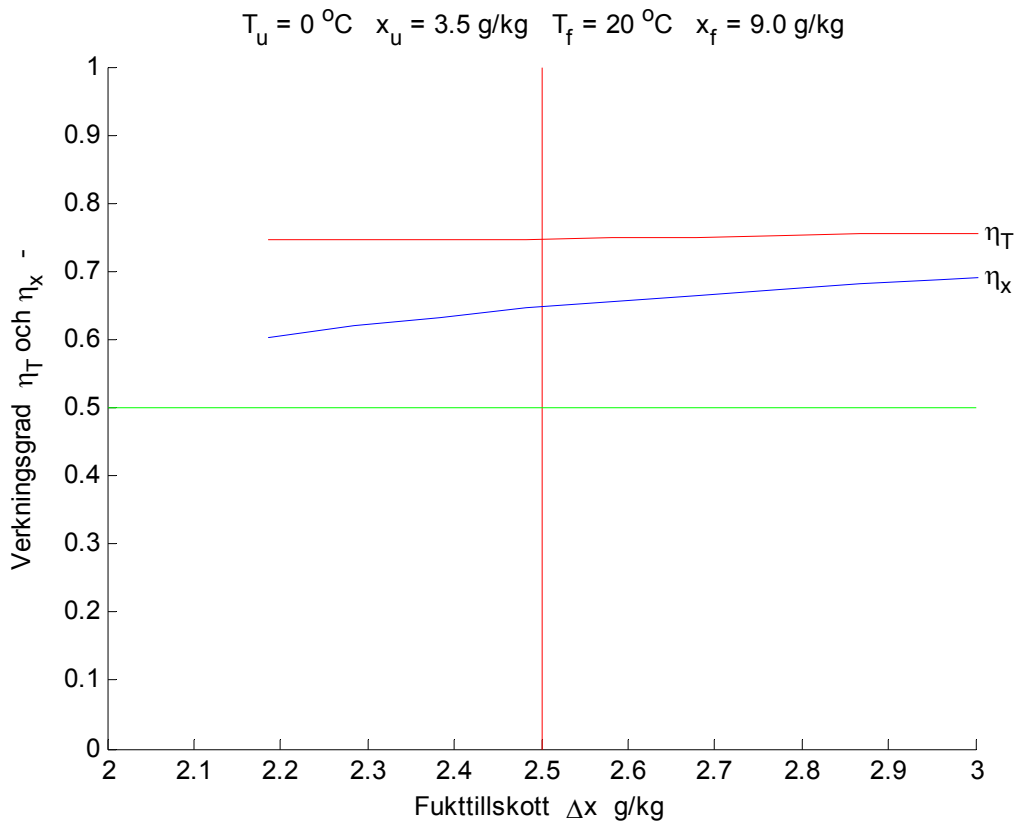
Kurvorna i Figur 2.1-3 visar att frånluftens vatteninnehåll och relativa luftfuktighet samt fuktverkningsgraden ökar betydligt. De tre variablerna är 13 g/kg, 0.88 respektive 0.69 för fukttillskottet 3 g/kg. Slutsatsen är att utan fuktreglering inneluftens vatteninnehåll och relativa luftfuktighet alldeles för hög.



Figur 2.1 Frånluftens vatteninnehåll x_f g/kg som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 2.2 Frånluftens relativa luftfuktighet r_f - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



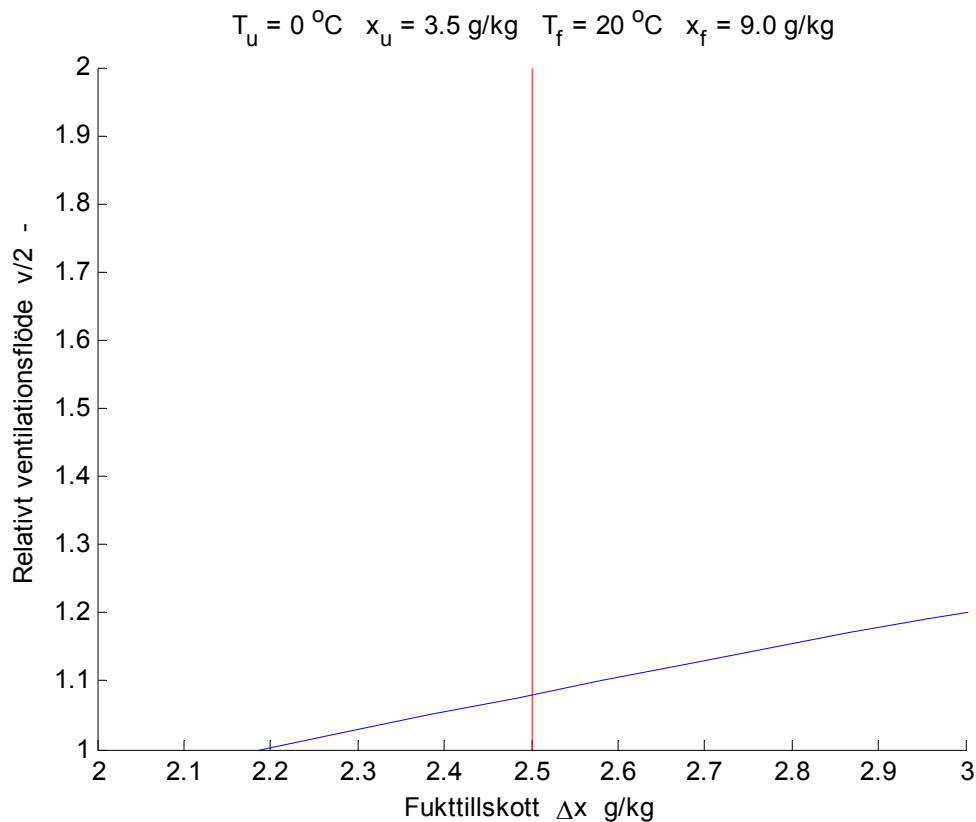
Figur 2.3 Verkningsgraderna η_T och η_x - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.

3 Fuktregering med ventilationsflöde

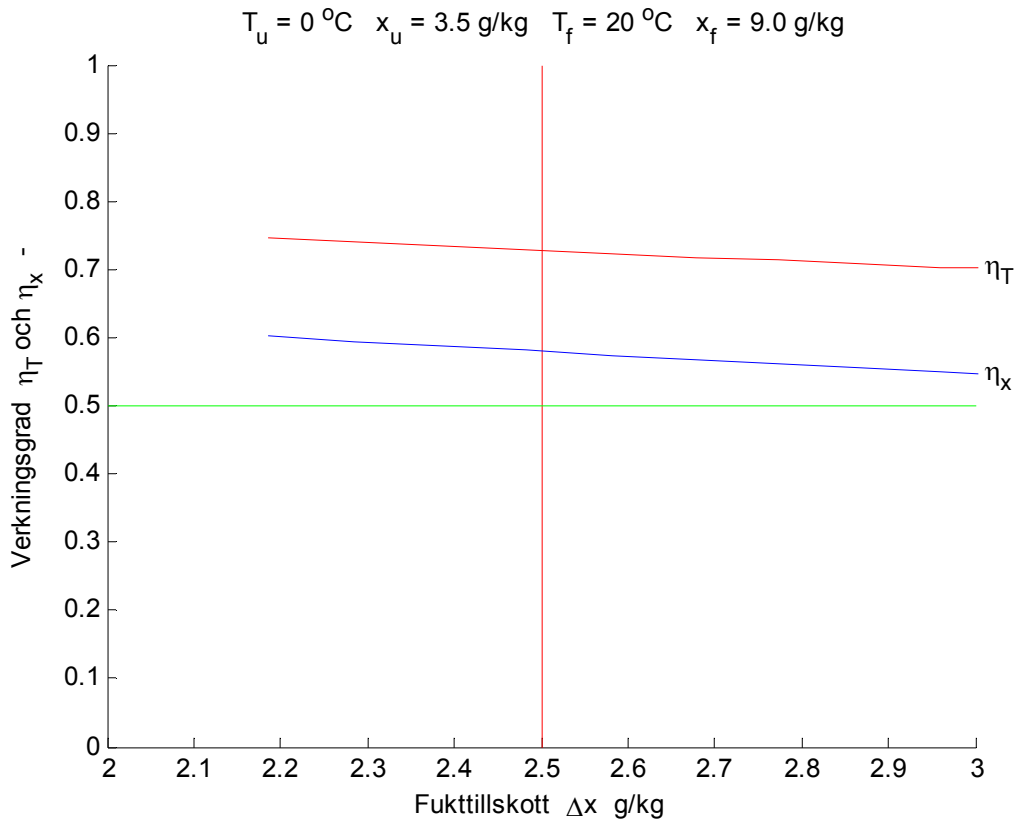
Åtgärden att öka ventilationsflödet verkar tvåfalt. Fuktkverkningsgraden avtar med ökat ventilationsflöde, eftersom själva rotorn är den samma och den belastas mer med ett större flöde. Det ökade ventilationsflödet innebär också att givna fukttillskottet späds ut på ett större ventilationsflöde och sammantaget att en mindre ändring av ventilationsflödet kan motverka ett större fukttillskott. Detta framgår av (1.1) och förenklat för detta fall fås (3.1) nedan. Det relativa ventilationsflödet beskrivs som $v/2$ med lufthastigheten v genom rotorn.

$$\Delta x = (x_f - x_u) (1 - \eta_x(v, n)) v / 2 \quad (\text{g/kg}) \quad (3.1)$$

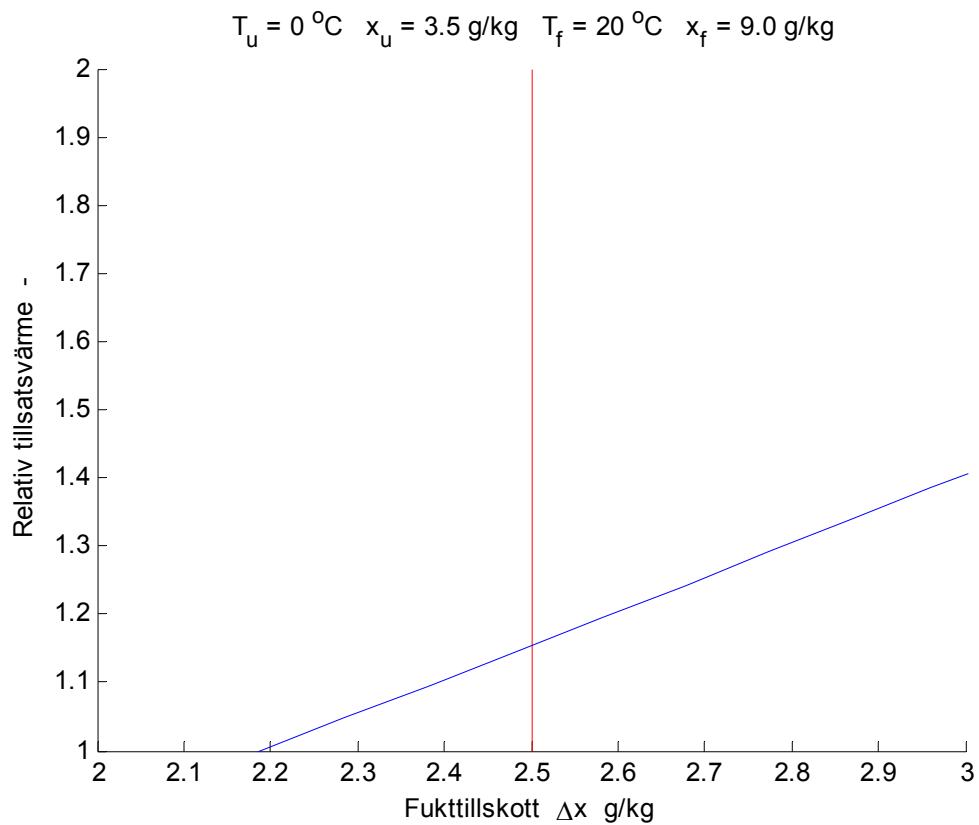
Fukttillskottet har ökats från 2.2 till 3 g/kg och resultatet redovisas i Figur 3.1 för det relativa ventilationsflödet $v/2$, i Figur 3.2 för temperaturverkningsgrad η_T och fuktkverkningsgraden η_x . SOSFS-krav 2.5 g/kg har ritats in i Figur 3.1-3. Fuktkverkningsgraden η_x minskar något med ökande luftflöde, medan temperaturverkningsgraden η_T avtar betydligt mindre. En mindre ökning av ventilationsflödet räcker för att klara fukttillskottet 3 g/kg jämfört med utgångsfallet 2.2 g/kg med en något mindre ökning av lufthastigheten genom rotorn från 2 m/s till 2.4 m/s.



Figur 3.1 Relativt ventilationsflöde $v/2$ som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 3.2 Verkningsgraderna η_T och η_x som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 3.3 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.

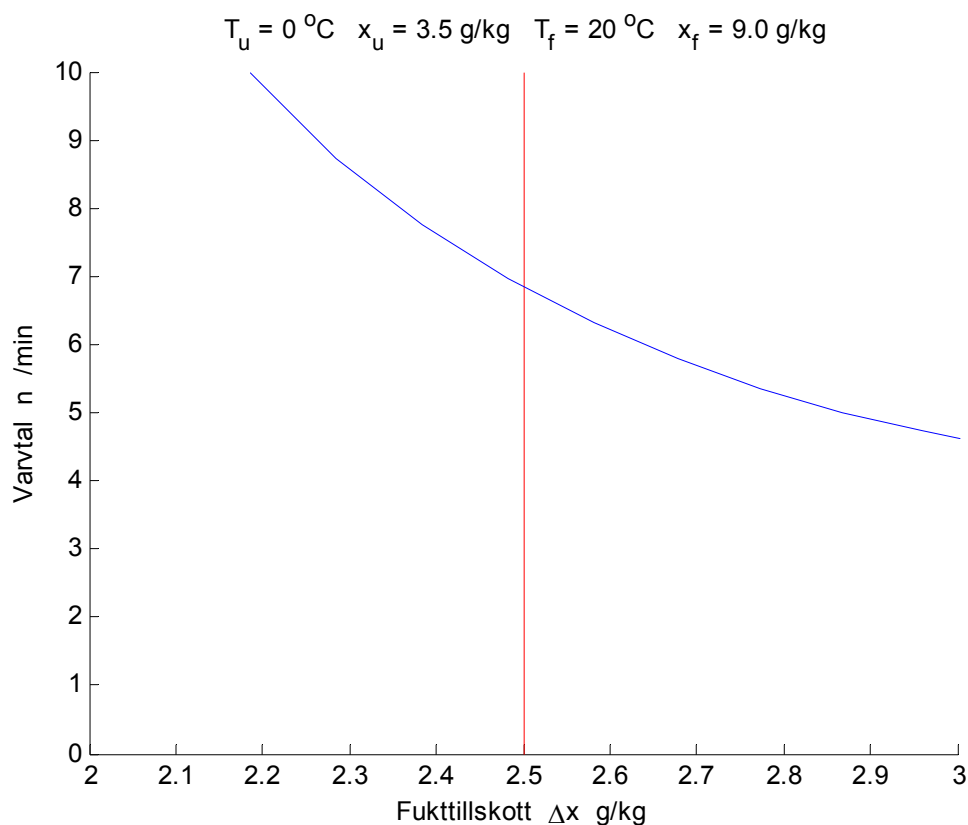
4 Fuktregering med varvtal

Åtgärden att minska varvtalet eller att öka periodtiden för ett varv minskar fuktverkningsgraden, eftersom rotorn utnyttjas sämre med ett lägre varvtal. Nödvändigt varvtal n kan beräknas med (1.1) som för detta fall förenklats till (4.1) nedan.

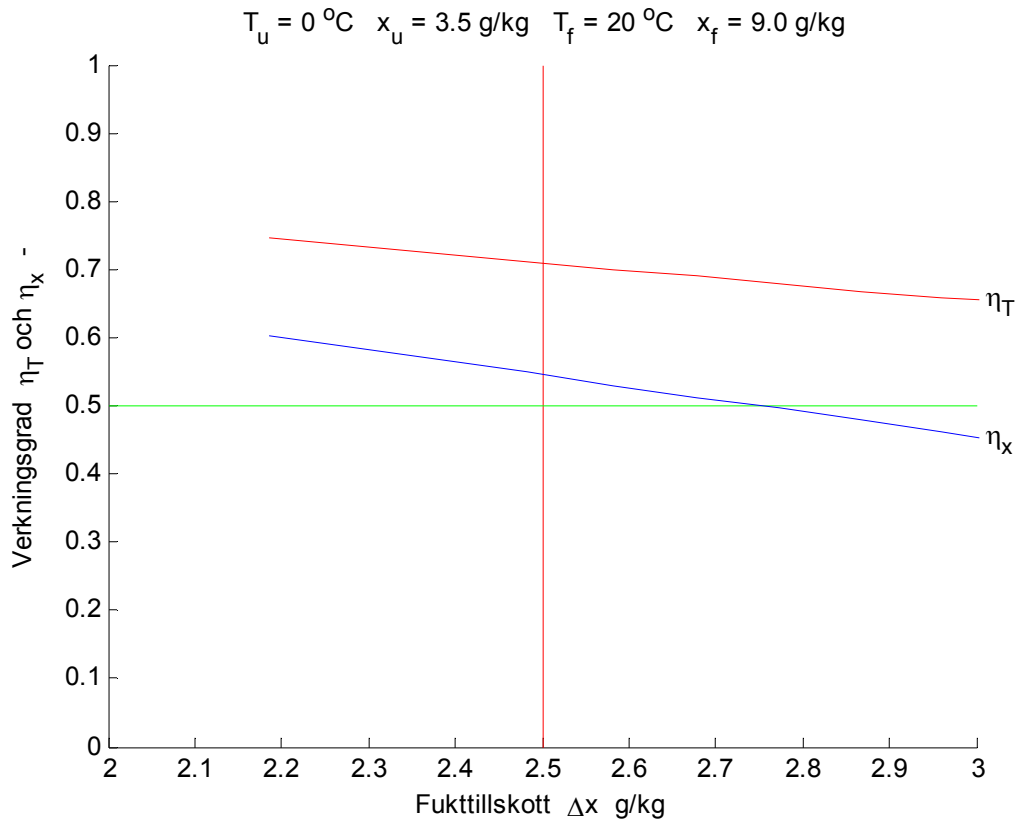
$$\Delta x = (x_f - x_u) (1 - \eta_x(v, n)) \quad (\text{g/kg}) \quad (4.1)$$

Fukttillskottet har ökat från 2.2 till 3 g/kg och resultatet redovisas i Figur 4.1 för periodtiden, i Figur 4.2 för temperaturverkningsgraden η_T och fuktverkningsgraden η_x . SOSFS-kravet 2.5 g/kg har ritats in i Figur 4.1-3.

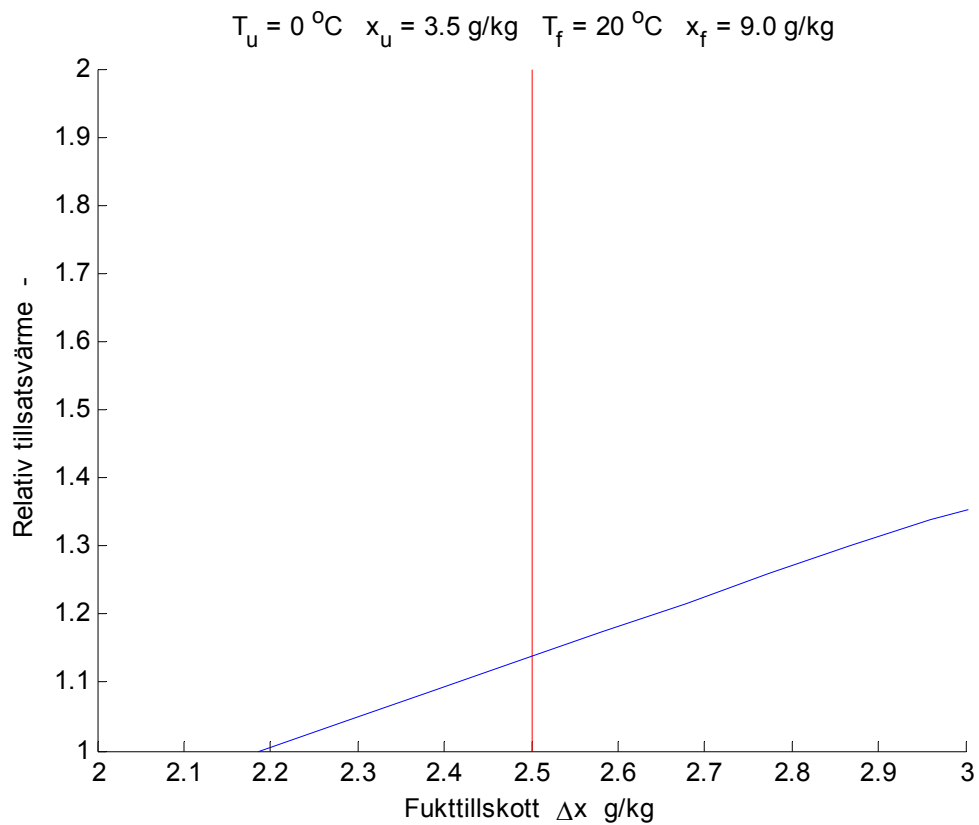
Varvtalet n i stort sett halveras för att klara fukttillskottet 3 g/kg jämfört med utgångsläget 2.2 g/kg. Temperaturverkningsgraden η_T avtar något med ökande fukttillskott och periodtid. Fuktverkningsgraden η_x avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden η_T .



Figur 4.1 Varvtal n som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 4.2 Verkningsgraderna η_T och η_x som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 4.3 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.

5 Fuktregering med ideal vädring

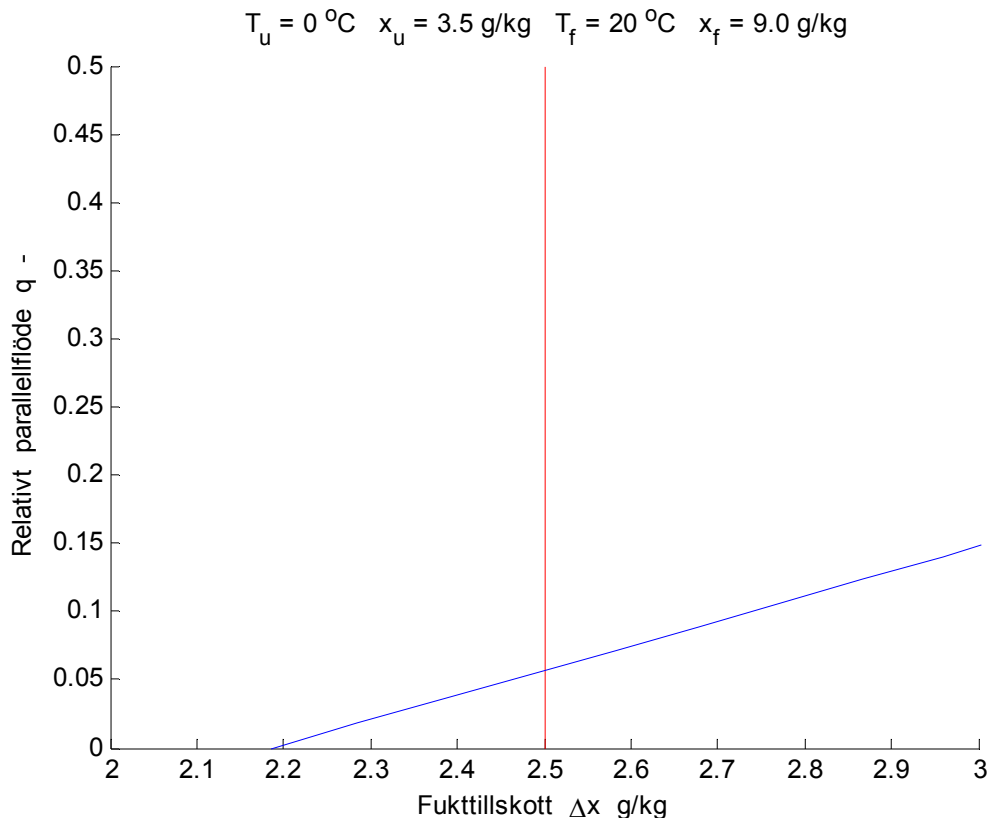
Åtgärden vädring påverkar inte fuktverkningsgraden, eftersom frånluftstillståndet skall vara konstant 20 °C och 9 g/kg. Uteluftstillståndet är 0 °C och 3.5 g/kg. Vädringen beskrivs med ett parallellflöde q relativt det nominella ventilationsflödet. Sambandet (1.1) kan för detta fall förenklas till (5.1) nedan för att bestämma den relativa vädringen q .

$$\Delta x = (x_f - x_u) (1 + q - \eta_x) \quad (\text{g/kg}) \quad (5.1)$$

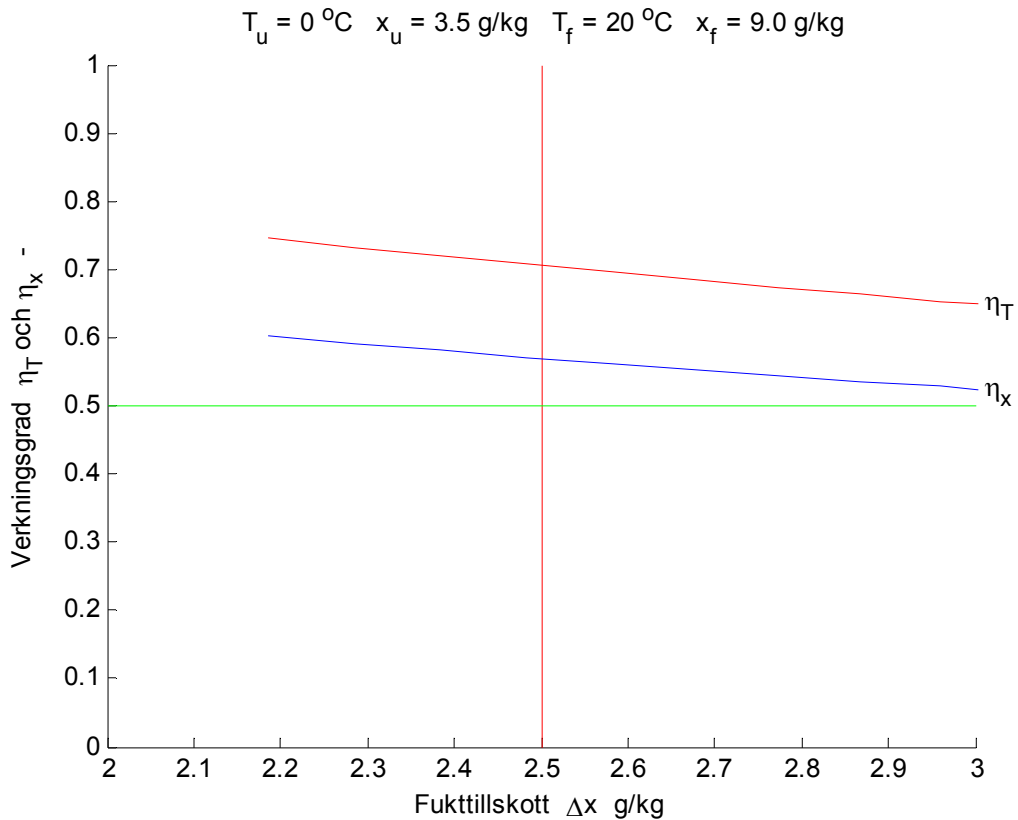
Fukttillskottet har ökat från 2.2 till 3 g/kg och resultatet redovisas i Figur 5.1 för det relativa parallellflödet q , i Figur 5.2 för temperaturverkningsgraden η_T korrigerad för det ökade totalflödet och fuktverkningsgraden η_x korrigerad för det ökade totalflödet. De två verkningsgraderna beräknas med samma princip uttryck enligt nedan.

$$\eta_q = \eta / (1 + q) \quad (-) \quad (5.2)$$

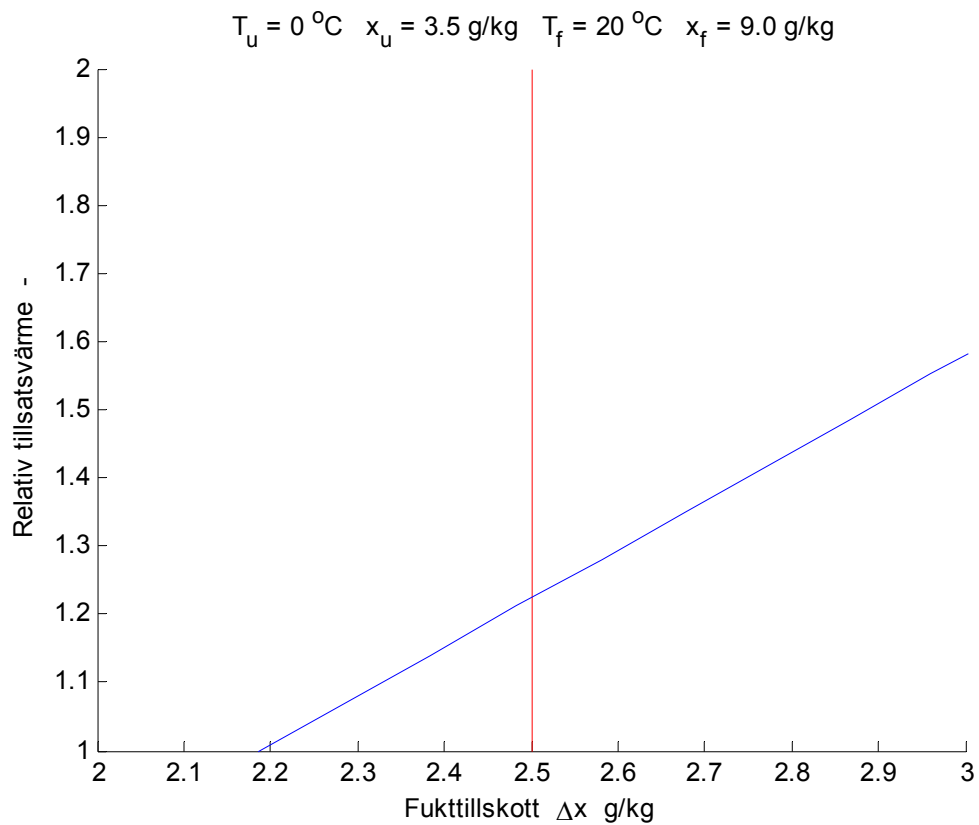
Kurvan i Figur 5.1 visar att det krävs en viss vädring för att klara av fukttillskott över 2.2 g/kg. De två totala verkningsgraderna i Figur 5.2 är omvänt proportionella mot totalflödet lika med $1+q$ och avtar därför lika mycket. SOSFS-kravet 2.5 g/kg har ritats in i Figur 5.1-3.



Figur 5.1 Relativt parallellflöde q som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 5.2 Totala verkningsgrader η_T och η_x som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 5.3 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.

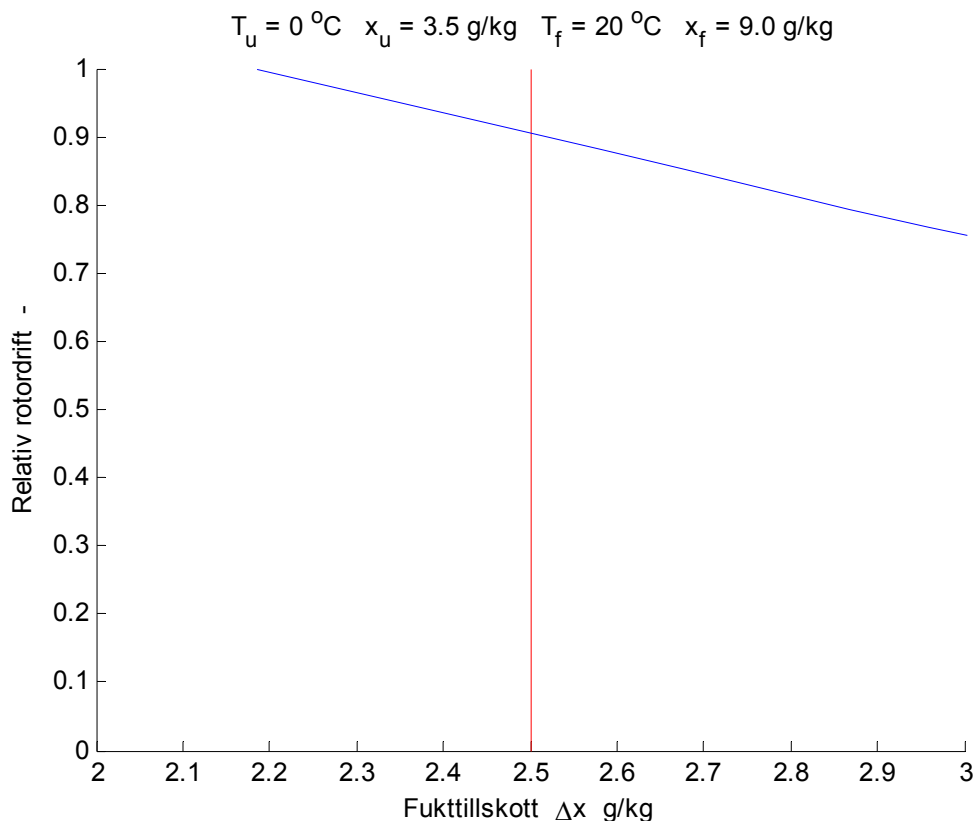
6 Fuktregering med intermittent rotordrift

Sambandet (1.1) mellan fukttillskott, fukttillstånd och reglervariabler kan för detta fall med intermittent rotordrift förenklas till (6.1) nedan. Verkningsgraderna för temperatur och fukt vid konstant drift kan skalas om den relativ rotordriftiden t . Detta utreds mer senare i texten.

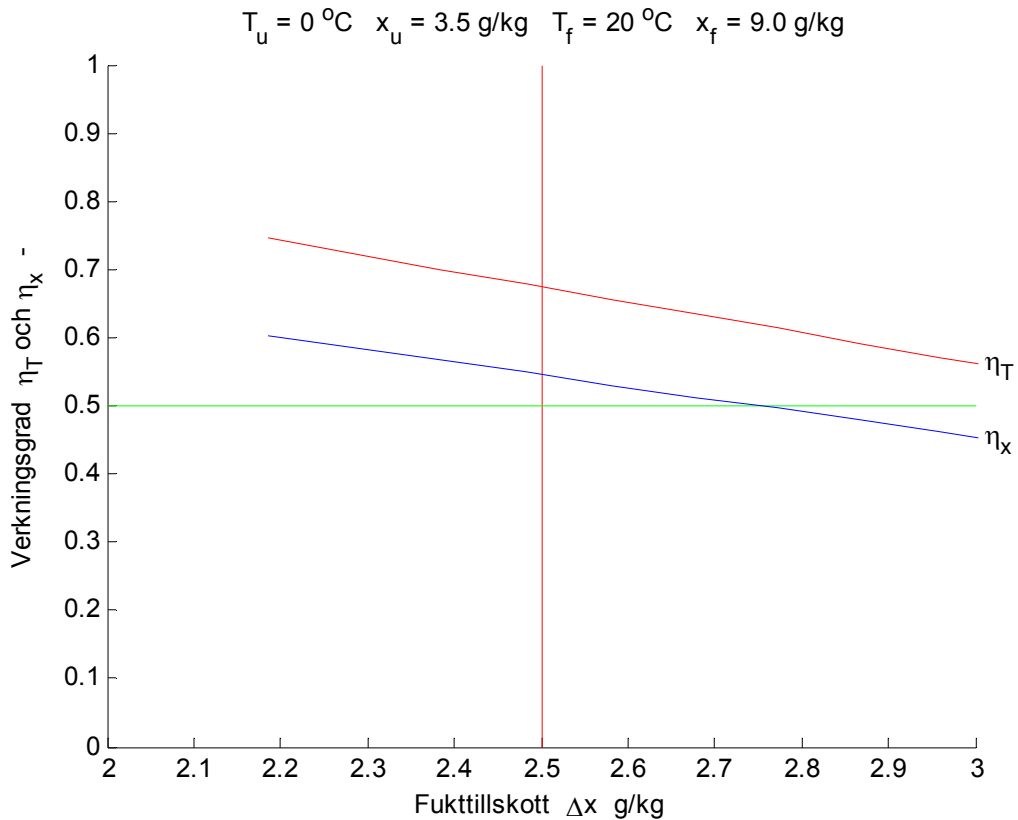
$$\Delta x = (x_f - x_u) (1 - \eta_x t) \quad (\text{g/kg}) \quad (6.1)$$

Fukttillskottet har ökat från 2.2 till 3 g/kg och resultatet redovisas i Figur 6.1 för den relativa drifttiden t , i Figur 6.2 för temperaturverkningsgraden η_T korrigerad för det ökade total-flödet och för fuktverkningsgraden η_x korrigerad för det ökade totalflödet.

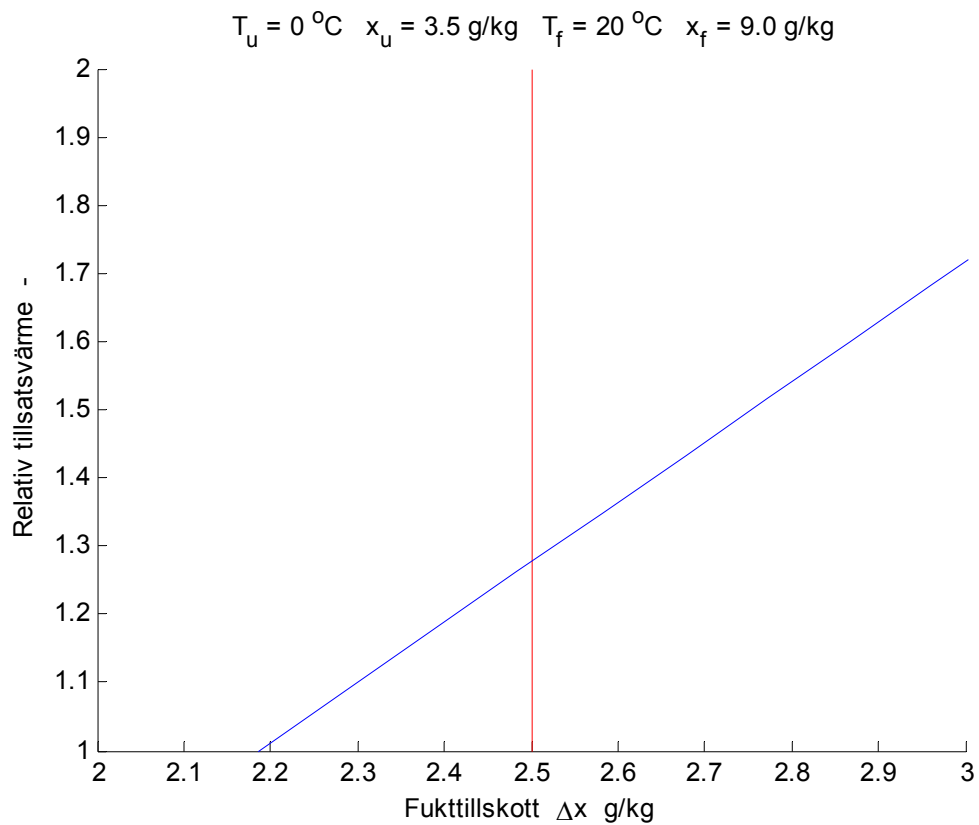
Kurvan i Figur 6.1 visar att det krävs en viss minskning av rotordriften för att klara av fukttillskott över 2.2 g/kg. De två totala verkningsgraderna i Figur 6.2 är proportionella mot den relativa driftstiden t och avtar därför lika mycket relativt sett. SOSFS-kravet 2.5 g/kg har ritats in i Figur 6.1-3.



Figur 6.1 Relativ rotordrift t som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 6.2 Totala verkningsgrader η_T och η_x som funktion av fuktillskott Δx g/kg.



Figur 6.3 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fuktillskott Δx g/kg.

Den totala verkningsgraden för temperatur, vatteninnehåll och värmeinnehåll vid intermittent rotordrift med driftslägena från och till kan beräknas med verkningsgradens driftsvärde η och en relativ driftstid t .

$$\eta_t = \eta t \quad (-) \quad (6.2)$$

$$t = t_{till} / t_{period} \quad (-) \quad (6.3)$$

En förutsättning är att periodtiden t_{period} är betydligt större än rotorns dynamiska tröghet för det aktuella luftflödet. Ett annat sätt att uttrycka detta är att rotorns tillstånd under de två driftstiderna för till och från är i stort sett lika med det för konstant eller ingen rotordrift. Det finns kortare insvängningsförlopp i början av varje av de två driftstiderna för till och från.

Hur snabb rotordynamiken är, kan uppskattas genom att jämföra halva rotorns värmelagringsförmåga C med värmeöverföringsförmågan Q för det luftflöde som passerar genom en rotorhalva under förutsättning att själva rotorytans värmeöverföringsförmåga är mycket större än luftflödets.

Kvoten mellan parametrarna C och Q är en tidskonstant T , som anger den tid som en förändring ser ut att ta med en konstant rampförändring. Det verkliga förloppet har en exponentiell insvängning och efter 1, 2 och 3 tidskonstanter återstår 0.37, 0.14 respektive 0.05 av förändringen.

Tidskonstanten kan lika gärna beräknas för en rotorkanal och dess luftflöde. En genomräkning med basfallets data ger att rotorytan har 7 gånger högre värmeöverföringsförmåga än luftflödet. Tidskonstanten mellan rotor och luftflöde är 10 s, vilket innebär att rotorn är helt uppvärmd eller nerkyld efter 30 s. Verkningsgrader för intermittent rotordrift kan därför beräknas med uttrycken (6.2-3) om periodtiden t_{period} är klart längre än 30 s.

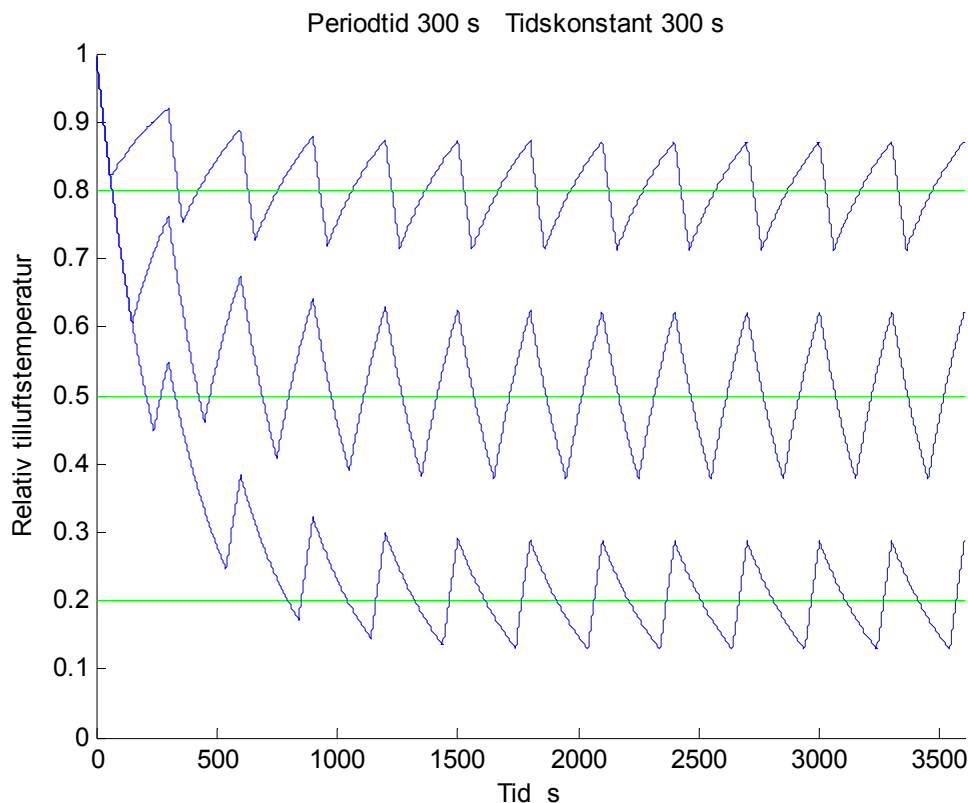
Långa drifttider är av intresse för att minska slitage av olika komponenter vid både start och stopp. En driftperiod eller driftcykel med en start och ett stopp begränsad till 600 s eller 10 minuter resulterar i tio start och stopp per timme om en verkningsgrad skall regleras ner.

Långa driftsperioder innebär färre start och stopp, men tilluftstemperaturen kan variera desto mer. Låga tilluftstemperaturer kan orsaka kallras under tilluftsdonen med obehag som följd. Det finns enkel temperaturutjämnande funktion hos själva tilluftskanalsystemet, vars dynamik bestäms av kanalsystemets värmelagringsförmåga i förhållande till ventilationsflödets värmeöverföringsförmåga.

Ett enkelt sifferexempel för ett småhus med ventilationsflödet 40 l/s eller 0.040 m³/s och ett kanalsystem med en sammanlagd kanallängd om 20 m för samtliga tilluftsdon, kanaldiameter 0.1 m och en plåttjocklek om 0.7 mm resulterar i en tidskonstant om 330 s. Långa driftsperioder eller driftcykler flera gånger längre än en tidskonstant ovan kommer att resultera i tilluftstemperaturer lika med utetemperaturen. Förutsättningen att kanalytans värmeöverföringsförmåga skall vara betydligt större än luftflödets värmeöverföringsförmåga är uppfyllt med siffrorna 90 W/K (värmeövergångstal 15 W/Km² för inre kanalyta) mot 48 W/K.

Tilluftskanalsystemet kan minska variationer i tilluften betydligt särskilt om en driftsperiod är kortare än kanalsystemets tidskonstant. Tilluftstemperaturens medelvärde blir proportionellt mot den relativa drifttiden, vilket kan bli för lågt för en tilluftstemperatur. Stora variationer i tilluftstemperatur vid intermitterent rotordrift kan regleras bort med ett eftervärmebatteri, vilket inte alltid ingår i ett rotoraggregat.

Hur tilluftstemperaturen relativt den vid konstant drift och uttemperaturen redovisas för tre för periodtiden 300 s och tidskonstanten 300 s i Figur 6.4 för tre olika relativa driftstider 0.2, 0.5 och 0.8. Kurvorna i Figur 6.4 visar att variationen är begränsad, men medelvärdet för den relativa tilluftstemperaturen blir efter ett tag lika med den relativa driftstiden efter ett insvängningsförlopp som bestäms av tidskonstanten.



Figur 6.4 Relativ tilluftstemperatur vid intermitterent drift för driftsperioden 300 s och ett tilluftskanalsystem med tidskonstanten 300 s och tre relativa driftstider 0.2, 0.5 och 0.8.

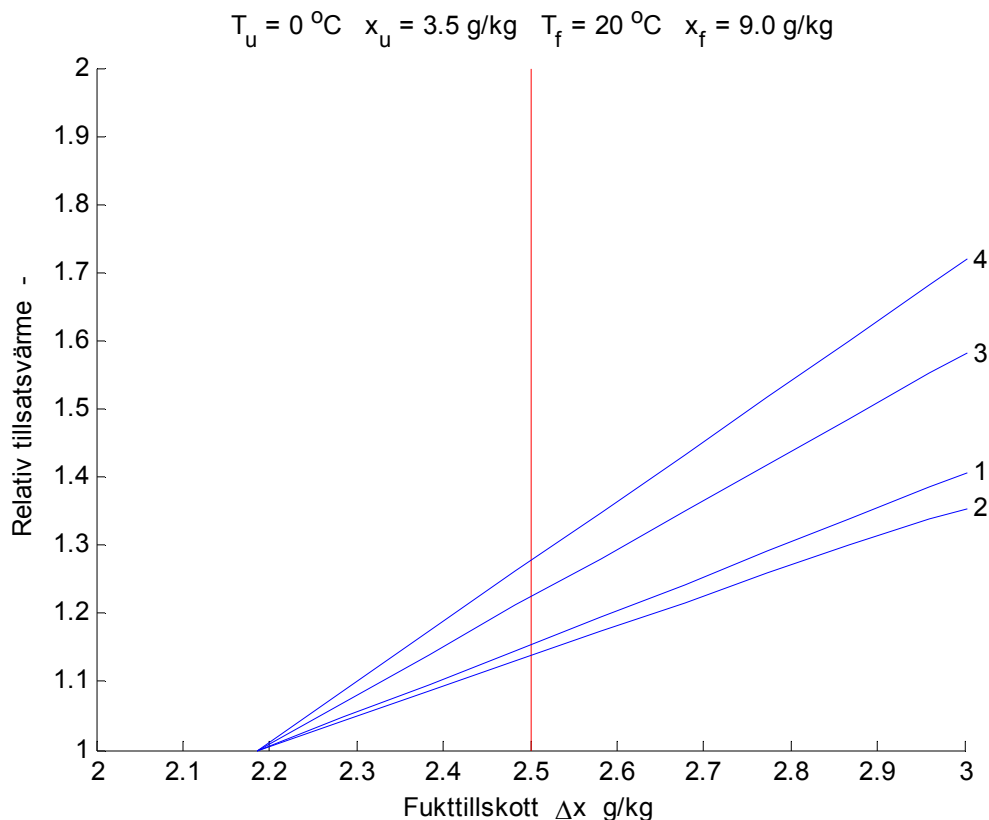
Den intermittenta driften påverkar tilluftens vatteninnehåll och därmed frånluftens vatteninnehåll, men dämpningen är mycket stor. Dämpningen bestäms av luftomsättningstiden som för småhus är omkring 2 h. Fuktbuffering i olika material ökar fuktomsättningstiden ytterligare. Den relativa variationen för frånluftens vatteninnehåll kan uppskattas med kvoten mellan periodtid och dubbla fuktomsättningstiden. Ett sifferexempel är periodtid 300 s och fuktomsättningstid 3 h, vilket ger en relativ variation om $1/72$.

7 Avslutning och slutsatser

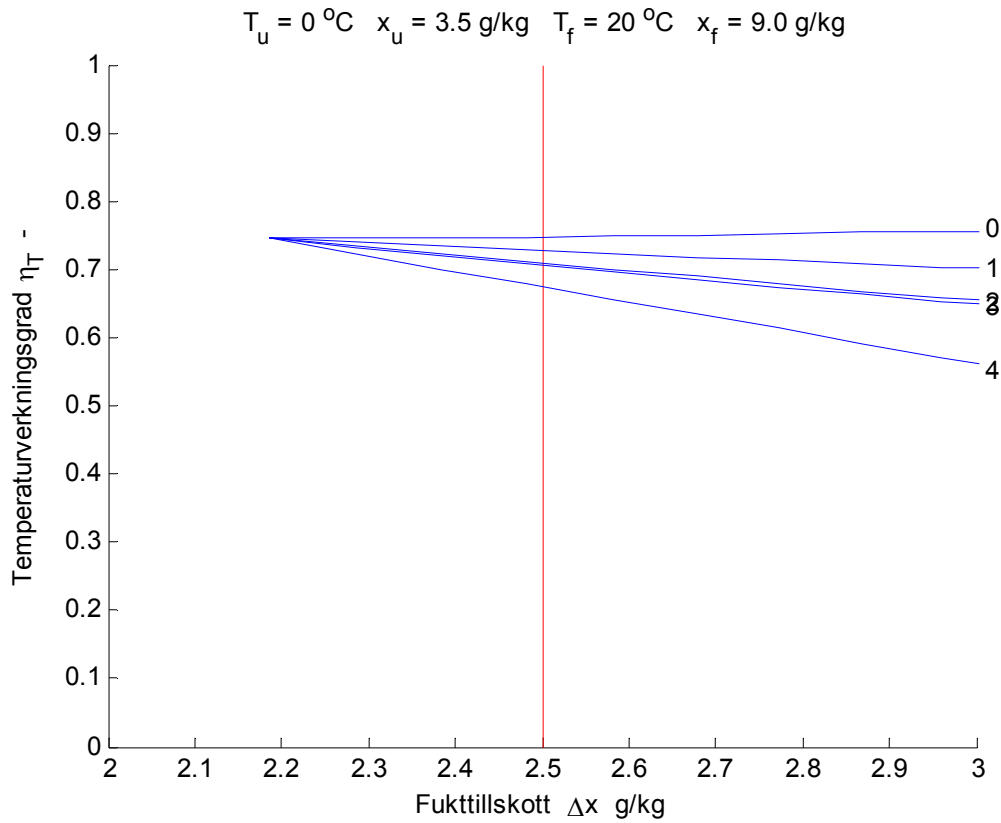
Relativ tillsatsvärme och verkningsgraderna η_T samt η_x för de fyra reglersätten, ventilationsflöde (1), varvtal (2), vädring (3) och intermittert rotordrift (4) sammanställs i Figur 7.1-3 som funktion av fukttillskott för att hålla vatteninnehållet för frånluften på 9 g/kg. Det bästa fuktregleringssättet Figur 7.1 för relativ tillsatsvärme är fuktreglering med varvtal (2). Fuktreglering med ventilationsflöde (1) är nästan lika bra. Sämst är intermittert rotordrift (4) för att ventilationsflödet saknar all återvinning när rotorn är stoppad. Vädring (3) är något bättre än intermittert rotordrift trots att vädringsflödet saknar all återvinning. Ett viktigt påpekande är att det framräknade vädringen inte är lätt att åstadkomma i praktiken.

Reglering med variabelt varvtal och variabelt ventilationsflöde är tekniskt krävande och därför också kostsamma. En möjlig lösning är i båda fallen intermittert drift växlande mellan normal drift och drift för att klara höga fukttillskott. Detta har testats med ett forcerat relativt ventilationsflöde om 1.2 som klarar fukttillskottet 3 g/kg och alternativt ett motsvarande reducerat varvtal om 4.6 varv/min. Skillnaden gentemot de ideala fallen var mindre än 0.005.

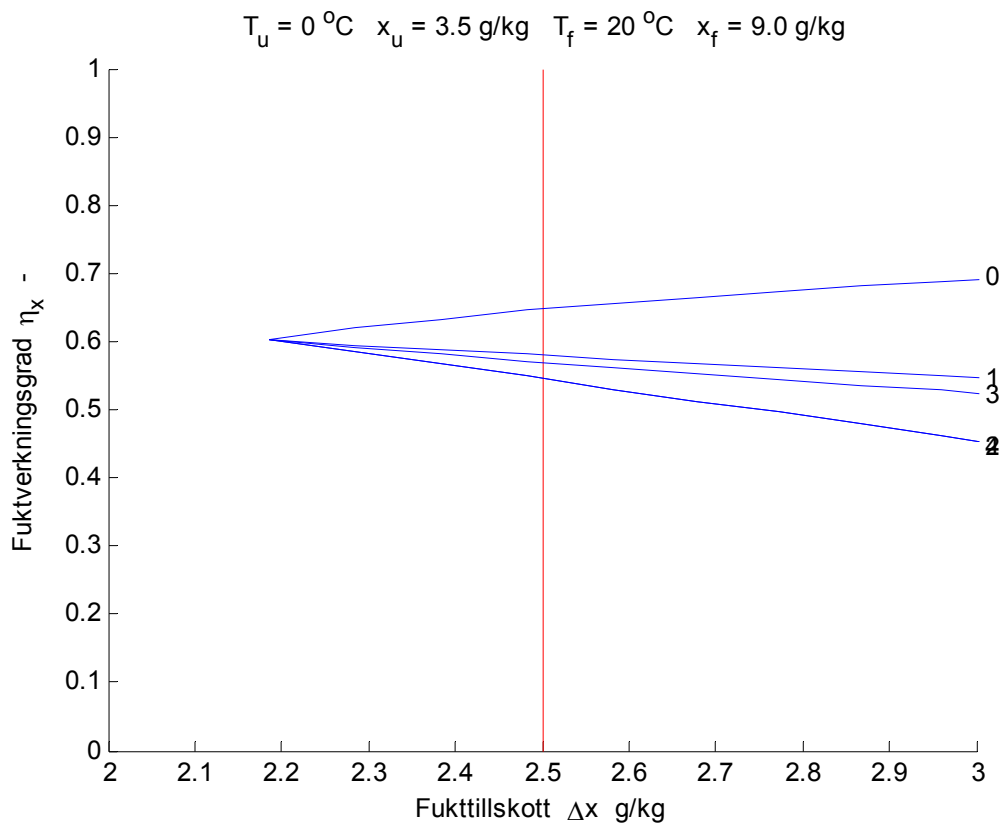
Det praktiskt bästa fuktregleringssättet är därför intermittert rotordrift med ett normalläge med högsta varvtal, ett mellanläge med omkring halverat varvtal samt ett viloläge.



Figur 7.1 Relativ tillsatsvärme - som funktion av fukttillskott Δx g/kg.



Figur 7.2 Temperaturverkningsgrad η_T som funktion av fuktillskott Δx g/kg.



Figur 7.3 Fuktverkningsgrad η_x som funktion av fuktillskott Δx g/kg.