



LUND UNIVERSITY

Fuktregering av regenerativ värmeväxling

Jensen, Lars

2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2010). *Fuktregering av regenerativ värmeväxling*. (TVIT; Vol. TVIT-7053). 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

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7053



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 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

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7053--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 En rotormodell	7
3 Undersökning av renblåsning	9
4 Fuktbeglering 7-10 g/kg vid -5 °C	11
5 Fuktbeglering 7-10 g/kg vid -0 °C	13
6 Fuktbeglering 7-10 g/kg vid 5 °C	15
7 Fuktbeglering 7 g/kg vid -5, 0 och 5 °C	17
8 Fuktbeglering 8 g/kg vid -5, 0 och 5 °C	19
9 Fuktbeglering 9 g/kg vid -5, 0 och 5 °C	21
10 Fuktbeglering 10 g/kg vid -5, 0 och 5 °C	23
11 Avslutning och slutsatser	25

1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport TVIT—10/7053 är att komplementera följande arbetsrapporterna om fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling med en ren metallrotor.

- TVIT—10/7046 Regenerativ ventilationsvärmeåtervinning – Simulering av fuktstillstånd med mätdata
- TVIT—10/7048 Fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling
- TVIT—10/7049 Fuktillskott i 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 rotorernas varvtal varvid temperaturverkningsgraden minskar något, medan fuktverkningsgraden minskar betydligt mer. Renblåsning av rotorn är något som minskar både temperatur- och fuktverkningsgrad. Problemställningar är att undersöka följande:

- Hur påverkar renblåsning och rotorvarvtal rotorernas funktion?
- Vilket rotorvarvtal krävs för ett givet fuktillskott, inne- och uteklimat?

Fuktåterföring och stort fuktillskott medför att uppfuktningen kan öka flera gånger själva fuktillskottet. Ett enkelt statistiskt samband mellan frånluftens vatteninnehåll x_f g/kg, uteluftens vatteninnehåll x_u g/kg, fuktillskottet Δx g/kg och fuktverkningsgraden η_x – är följande:

$$x_f = x_u + \Delta x / (1 - \eta_x) \quad (\text{g/kg}) \quad (1.1)$$

En fuktverkningsgrad om 0.5 ger en fördubblad uppfuktning av uteluften till frånluft. Det är fuktfaktorn $1 / (1 - \eta_x)$ som svarar för fördubblingen.

Det finns två gränsvärden som berör uppfuktning och fukthalt i rumsluft. Uppfuktningen av rumsluft bör inte regelmässigt överstiga 2.5 g/kg (3 g/m³) vintertid enligt SOSFS 1999:25. Vatteninnehållet i rumsluft skall heller inte överstiga 7 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:21, vilket för temperaturen 21 °C motsvarar en relativ luftfuktighet om 0.45.

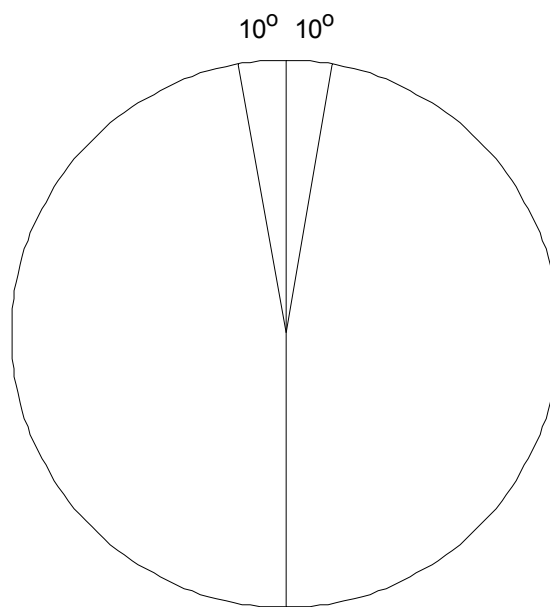
Vilken fuktåtervinning eller fuktverkningsgrad η_x som kan tillåtas kan enkelt bestämmas med uttrycket (1.1), vilket omskrivet ger:

$$\eta_x = 1 - \Delta x / (x_f - x_u) \quad (-) \quad (1.2)$$

Alla beräkningar i arbetsrapporten utgår från samma basfall som i tidigare arbetsrapporter för en rotorvärmeväxlare 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/Km² och varvtid 6 s. Rotorkanallängd är strömningens längd, rotorernas axiella längd eller djup.

Rotormodellen beskrivs i avsnitt 2, där en kanal 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.

Modellen har utökats med renblåsning med två delsektorer enligt Figur 1.1 båda med vinkeln 10° . En vinkel på 6° räcker för att helt genomblåsa en delsektor på 0.1 s, eftersom rotorn vrider sig $60^\circ/\text{s}$. Medelvärde för temperatur och vatteninnehåll efter uteluftens delsektor blir indata till frånluftens delsektor. Fallet utan och med renblåsning undersöks i avsnitt 3 kombinerat med fem olika varvtider 6, 12, 15 20 och 30 s, vilket motsvarar varvtalen 10, 5, 4, 3 respektive 2 /min.



Figur 1.1 Definition av renblåsningsssektor

Fuktregering till önskat vatteninnehåll 7, 8, 9 och 10 g/kg redovisas för uteklimat -5°C och 2 g/kg i avsnitt 4, 0°C och 3.5 g/kg i avsnitt 5 och 5°C och 5 g/kg i avsnitt 6. De tre uteklimaten motsvarar nästan mättad uteluft.

Fuktregering till ett önskat vatteninnehåll 7, 8, 9 eller 10 g/kg sammanställs även för de tre uteklimaten i avsnitt 7, 8, 9 respektive 10.

Avslutning och slutsatser ges i avsnitt 11

2 En rotormodell

En fysikalisk rotormodell kan formuleras som följer under följande förutsättningar. En rotorkanal beskrivs som ett cylindriskt rör med en given längd, en given innerdiameter, en given godstjocklek och ett givet material. Genomströmningen sker med uteluft och frånluft växelvis och i motström för en given varvtid och med samma lufthastighet.

Värmeledning i rotorn har försumrats. Rotorn är en ren metallrotor. Vattnets ackumulering i rotorn har också försumrats. Vattenfilmens tjocklek påverkar inte rotorkanaldiametern. Frysning och smältning beskrivs inte av modellen. Felet uppskattas att vara litet. Ångbildningsvärmets är flera gånger större än det tillkommande smältvärmets.

Rotorkanalen följs under ett helt varv för att bestämma olika verkningsgrader. Det finns två temperaturverkningsgrader, en för tilluft och en för avluft. Samma sak gäller även för vatteninnehåll och värmeinnehåll eller entalpi. Fuktverkningsgraden kan beräknas med hjälp av rotorns ändring i vatteninnehåll under ett halvvarv under förutsättning att det inte sker någon ackumulering av vatten i rotorn.

En korrektion görs av fuktverkningsgraden för växling mellan sektorn för uteluft-tilluft och sektorn frånluft-avluft. Rotorkanalmodellen innehåller i stort sett enbart frånluft vid övergång till sektorn uteluft-tilluft och omvänt bara uteluft vid övergång till sektorn frånluft-avluft. Denna korrektion kan motsvara inverkan av en renblåsningsssektor.

En rotorkanal har delats upp i upptill 100 axiella element. Två värmebalansekvationer (2.1-2) anges för varje rotoelements luftmassa och rotormassa. En balansekvation (2.3) anges för vatteninnehållet i rotorluften. En massbalansekvation (2.4) anges för rotorns vattenmassa. De fyra balansekvationerna beskrivs nedan för med vektorbeteckningarna T , x , T_r och m för rotorkanalluftens temperatur och vatteninnehåll, rotortemperatur respektive rotorvatten. Rotorns temperatur T_r bestämmer vatteninnehållets mättnadsvärde x_m med en tredjegradsfunktion av rotorns temperatur. Rotormodellens grundparametrar är följande:

c	specifikt värme luft, J/kgK
c_r	specifikt värme rotor, J/kgK
d	rotorkanaldiameter, m
h	värmeövergångstal, W/Km ²
l	rotorkanallängd, m
n	antal element, -
r	ångbildningsvärme, J/kg
t	rotorns godstjocklek, m
v	strömningshastighet, m/s
ρ	luftdensitet, kg/m ³
ρ_r	rotordensitet, kg/m ³

Grundparametrarna bildar en del hjälpparametrar och variabler enligt nedan:

$dz = l/n$	(m)	rotoelementlängd
$a = \pi d^2 / 4$	(m ²)	rotorkanalvärsnittsyt
$A = \pi d dz$	(m ²)	rotoelementkontaktyta
$V = a dz$	(m ³)	rotorkanalvolym
$C = \rho c V$	(J/K)	värmekapacitet för kanalvolym
$C_r = \rho_r c_r A t / 2$	(J/K)	värmekapacitet för rotorvolym
$q = \rho a v$	(kg/s)	luftflöde
$x_m = f(T_r)$	(kg/kg)	mättat rotorvatteninnehåll
$P = Ah (T_r - T)$	(W)	värmeeffekt till luft från rotor
$Q = Ah (x_m - x) / c$	(kg/s)	vattenflöde till luft från rotor

De fyra differentialekvationerna för rotorns fyra tillstånd lufttemperatur, vatteninnehåll, rotortemperatur och rotorvatten redovisas nedan. Alla derivator skrivs som da/db .

$$dT/dt = (P - c q dT/dz) / C \quad (^\circ\text{C/s}) \quad (2.1)$$

$$dT_r/dt = (-P - r Q) / C_r \quad (^\circ\text{C/s}) \quad (2.2)$$

$$dx/dt = (Q - q dx/dz) / \rho V \quad (\text{kg/kg}) \quad (2.3)$$

$$dm/dt = -Q \quad m > 0 \quad (\text{kg/s}) \quad (2.4)$$

De två axiella derivatorna dT/dz i (2.1) och dx/dz i (2.3) beräknas med uppströmsvärden, vilket för in de två inflödenas temperatur och vatteninnehåll växelvis för varje halvperiod. Utflödenas värden extrapoleras med de två yttersta elementen fram till rotorns kant. Viktningen är 1.5 och -0.5 för det yttersta respektive det näst yttersta elementet.

Tidsmedelvärden för rotorkanalens utloppsvärden för en passage av tilluftssektorn och dito avluftssektorn används för att beräkna olika verkningsgrader för temperatur, vatteninnehåll och entalpi både för tilluft respektive avluft. Denna beräkning görs först efter minst fem varv för att rotorns tillstånd skall stabiliseras.

Denna modell enligt (2.1-4) med tillhörande hjälpvariabler och parametrar undersöks utifrån basfallet för att möjliggöra jämförelser som följer för olika:

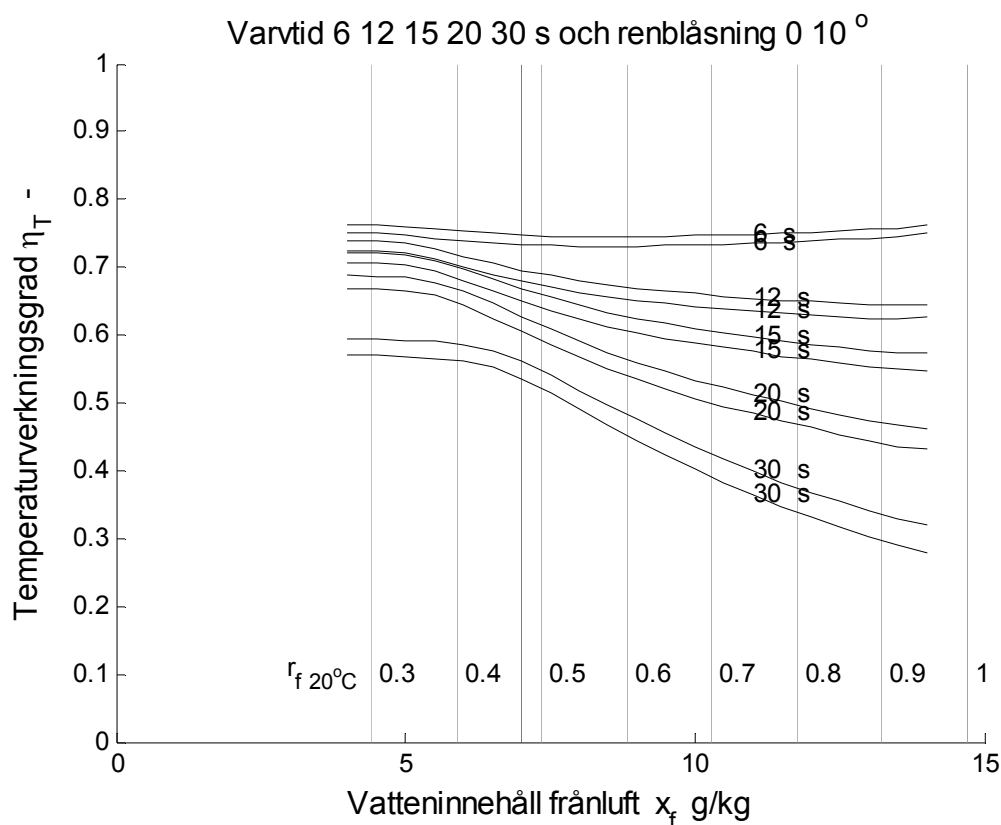
- varvtid 6, 12, 15, 20, 30 s och renblåsning 0, 10 ° avsnitt 3 sid 9
- reglering fukthalt 7 8 9 10 g/kg -5 °C 2.0 g/kg avsnitt 4 sid 11
- reglering fukthalt 7 8 9 10 g/kg 0 °C 3.5 g/kg avsnitt 5 sid 13
- reglering fukthalt 7 8 9 10 g/kg 5 °C 5.0 g/kg avsnitt 6 sid 15
- reglering fukthalt 7 g/kg -5:2 0:3.5 5:5 °C:g/kg avsnitt 7 sid 17
- reglering fukthalt 8 g/kg -5:2 0:3.5 5:5 °C:g/kg avsnitt 8 sid 19
- reglering fukthalt 9 g/kg -5:2 0:3.5 5:5 °C:g/kg avsnitt 9 sid 21
- reglering fukthalt 10 g/kg -5:2 0:3.5 5:5 °C:g/kg avsnitt 10 sid 23

3 Undersökning av renblåsning

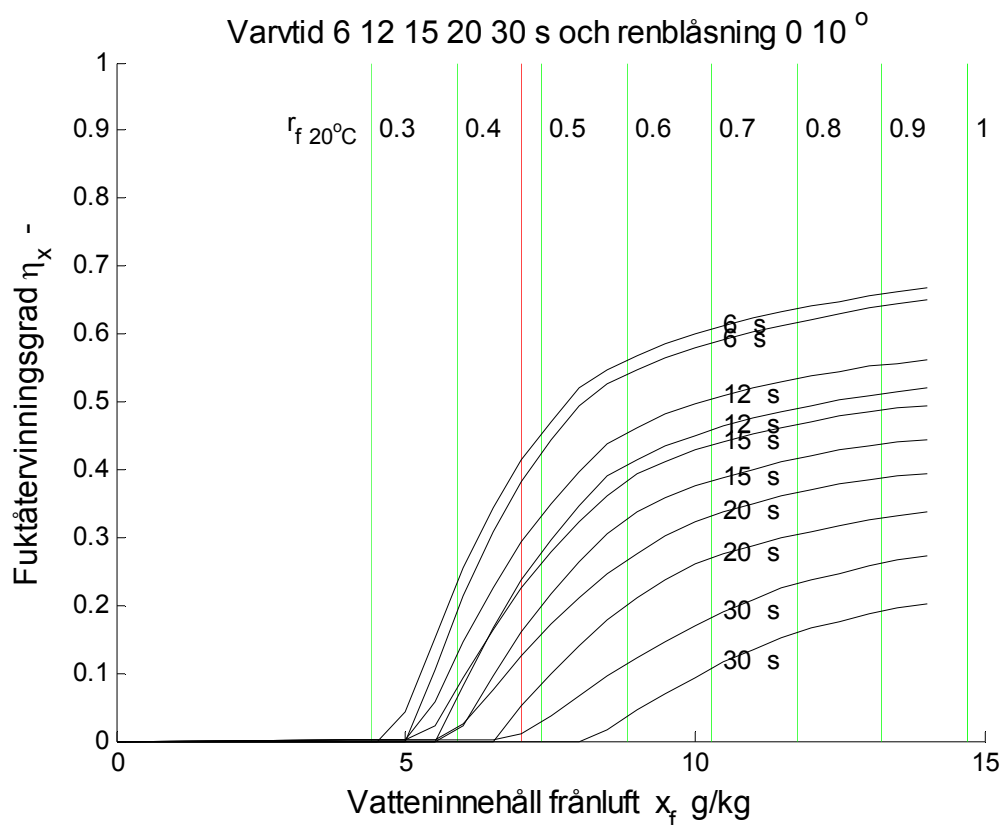
Syftet med detta avsnitt är att redovisa hur renblåsning påverkar temperatur- och fuktverkningsgrad som funktion av rumsluften vatteninnehåll för ett givet uteklimat $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Endast ett fall med renblåsning jämförs med ett fall utan renblåsning. Renblåsningen omfattar två sektorer, båda med vinkeln 10 ° . Denna vinkel är onödigt stor basfallet med genomblåsningstid 0.1 s och varvtid 6 s , men har valts för att få en viss skillnad mellan de två fallens kurvor i Figur 3.1-3. En vinkel på 6 ° räcker för att genomblåsa en delsektor helt på 0.1 s , eftersom rotorn vrider sig $60\text{ }^{\circ}/\text{s}$.

Temperaturverkningsgrad η_T , fuktverkningsgrad η_x och nödvändigt fukttillskott $\Delta x\text{ g/kg}$ för att uppnå ett givet vatteninnehåll i frånluften redovisas som funktion av frånluftens vatteninnehåll i Figur 3.1-3. Den relativa fuktigheten för frånluften markeras i Figur 3.1-3 med vertikala linjer från 0.3 upptill 1 . Kravet på högst 7 g/kg vatteninnehåll för rumsluft/frånluft enligt SOSFS 1999:21 är också inritat i Figur 3.1-3. Kravet på högst 2.5 g/kg för fukttillskott enligt SOSFS 1999:25 anges i Figur 3.3.

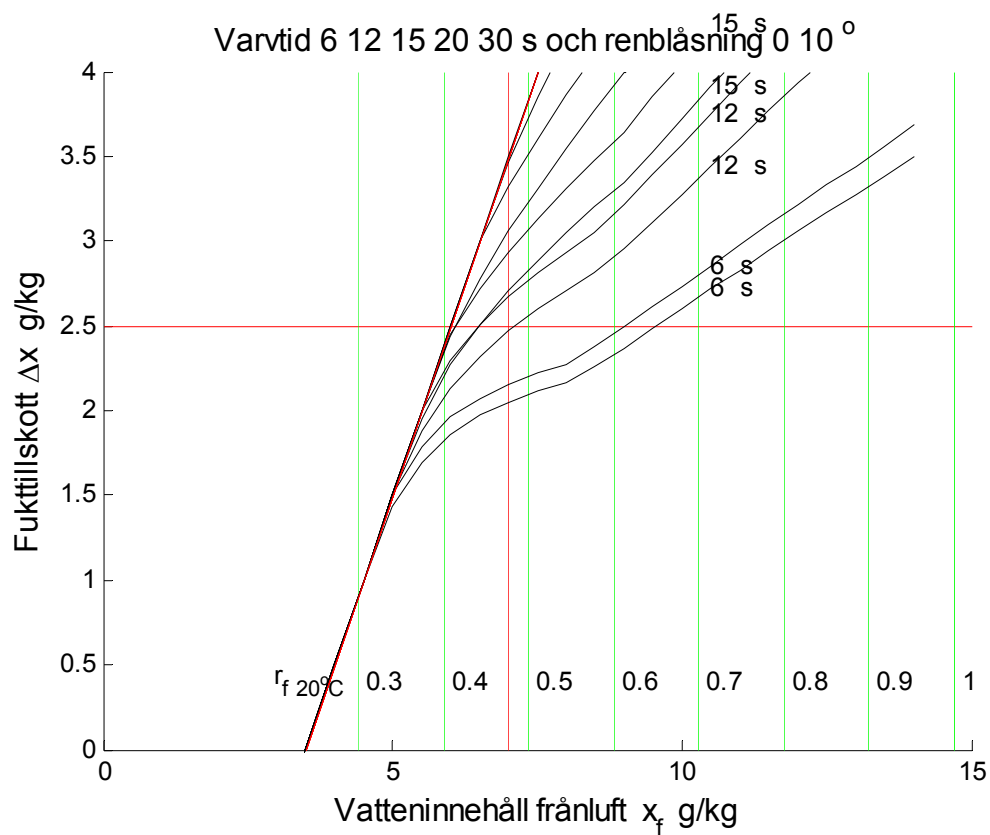
Kurvorna i Figur 3.1 och 3.2 visar att temperatur- och fuktverkningsgrad avtar något när renblåsning ingår. Skillnaden ökar i båda fallen med avtagande varvtal.



Figur 3.1 Temperaturverkningsgrad η_T – som funktion av $x_f\text{ g/kg}$ och olika varvtid.



Figur 3.2 Fuktverkningsgrad η_x – som funktion av x_f g/kg och olika varvtid.



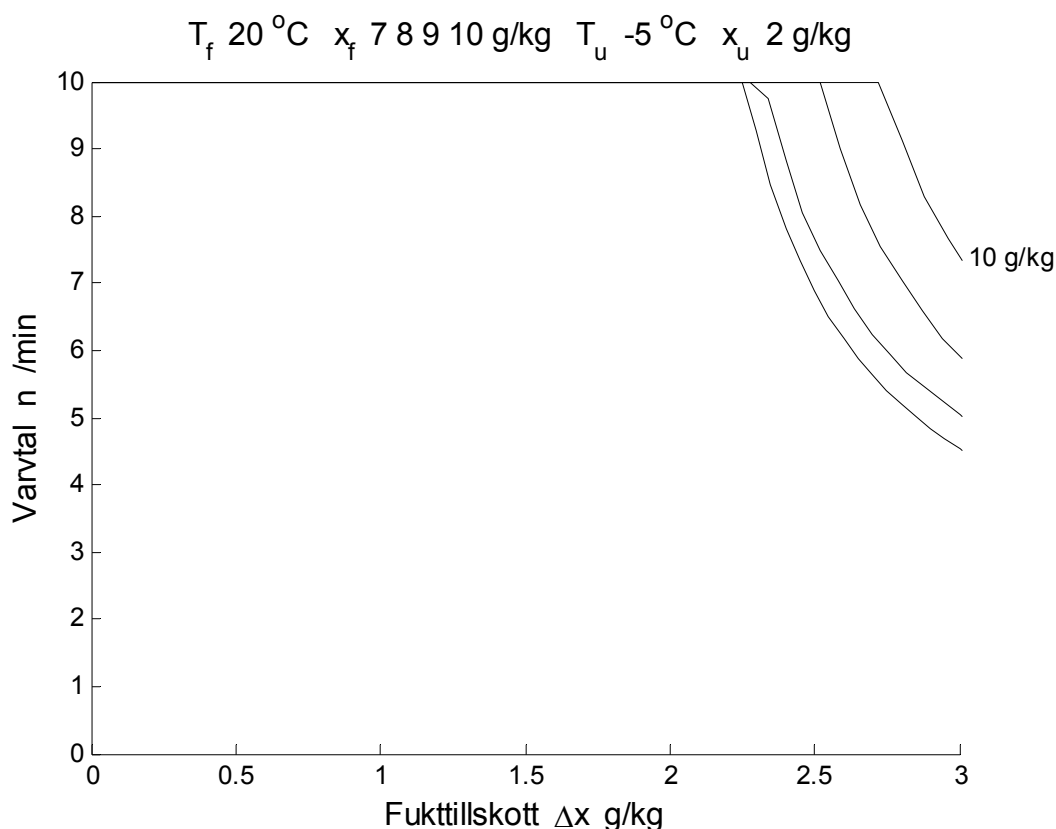
Figur 3.3 Nödvändigt fukttillskott Δx g/kg som funktion av x_f g/kg och olika varvtid.

4 Fuktregering 7-10 g/kg vid -5 °C

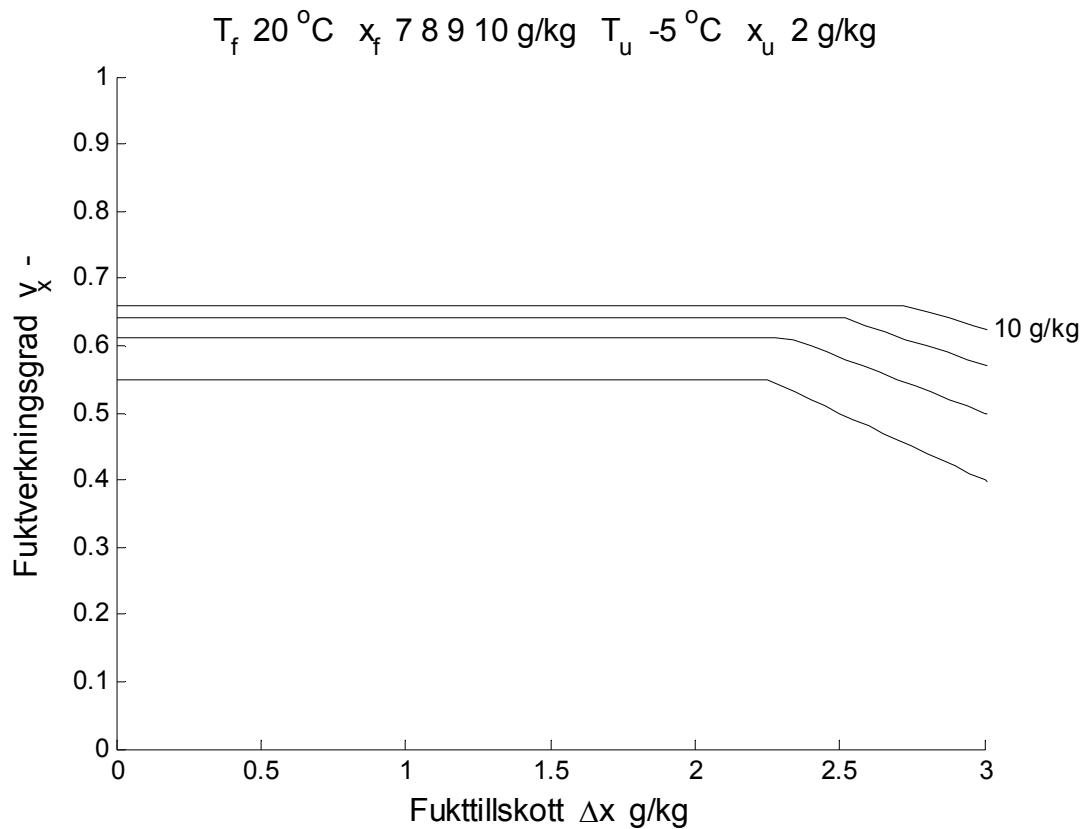
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 7, 8, 9 eller 10 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för ett givet uteklimat -5 °C och 2 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 4.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

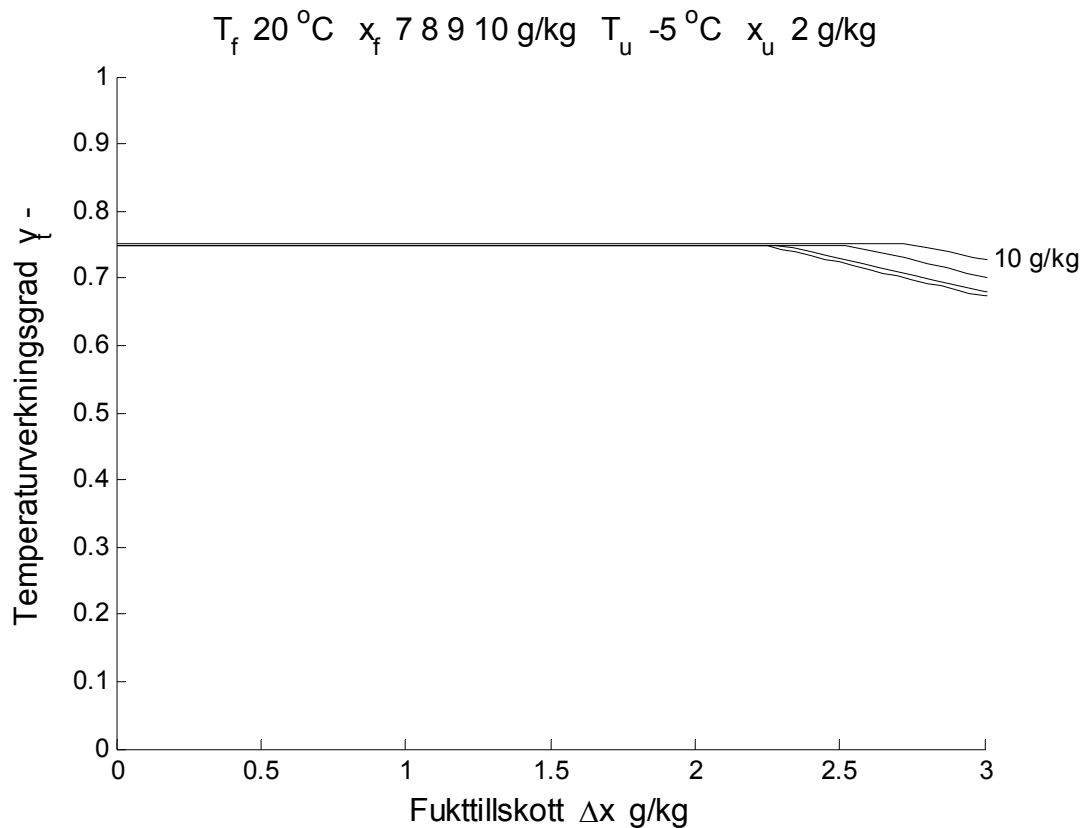
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 4.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 4.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 4.3 med minskande varvtal.



Figur 4.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.



Figur 4.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.



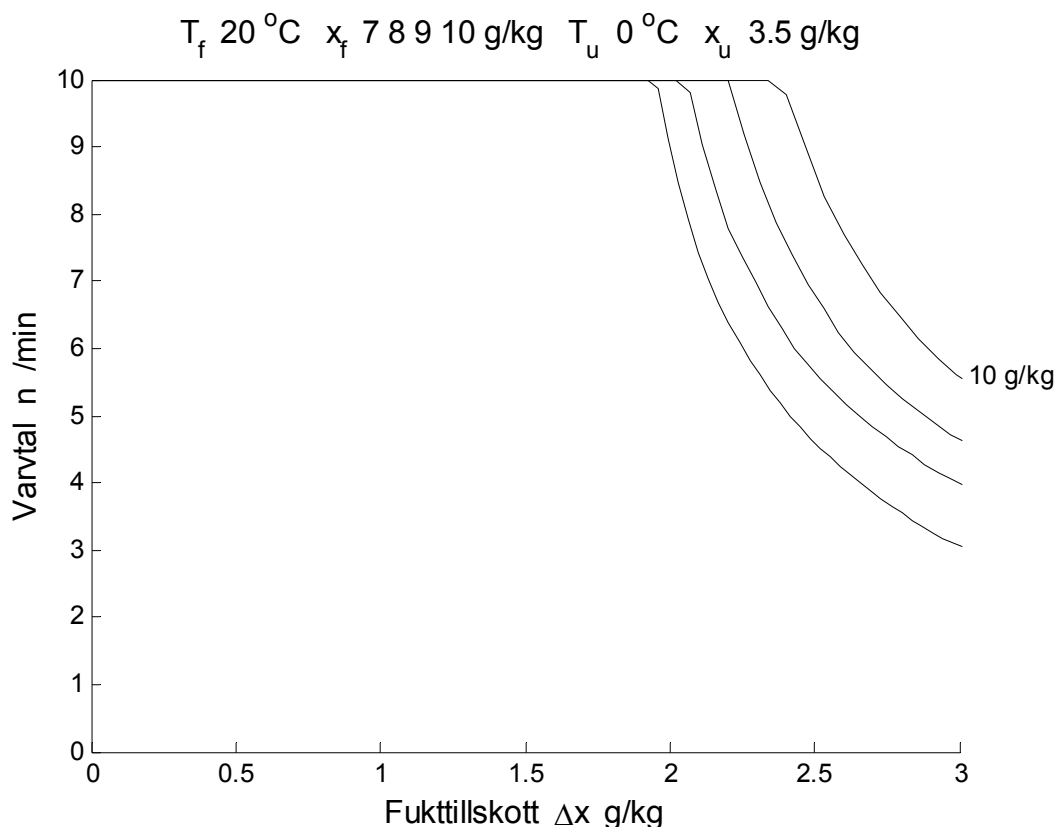
Figur 4.3 Temperaturverkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.

5 Fuktregering 7-10 g/kg vid 0 °C

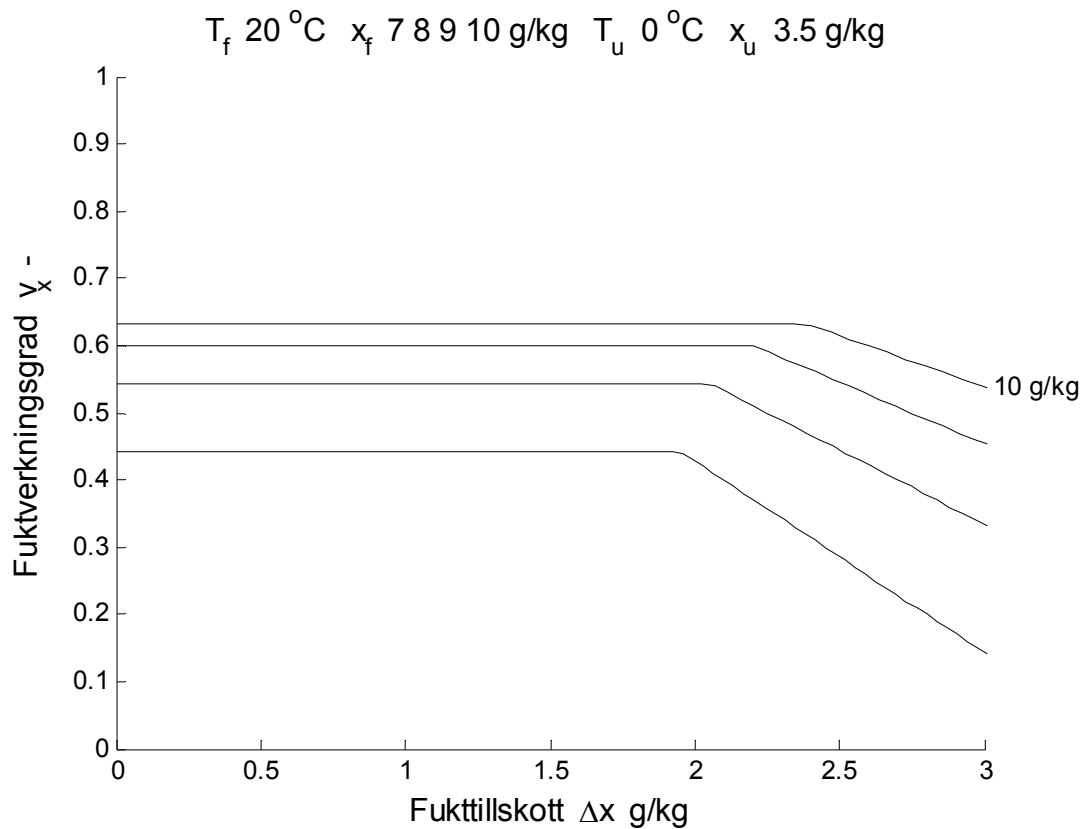
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 7, 8, 9 eller 10 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för ett givet uteklimat 0 °C och 3.5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 5.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

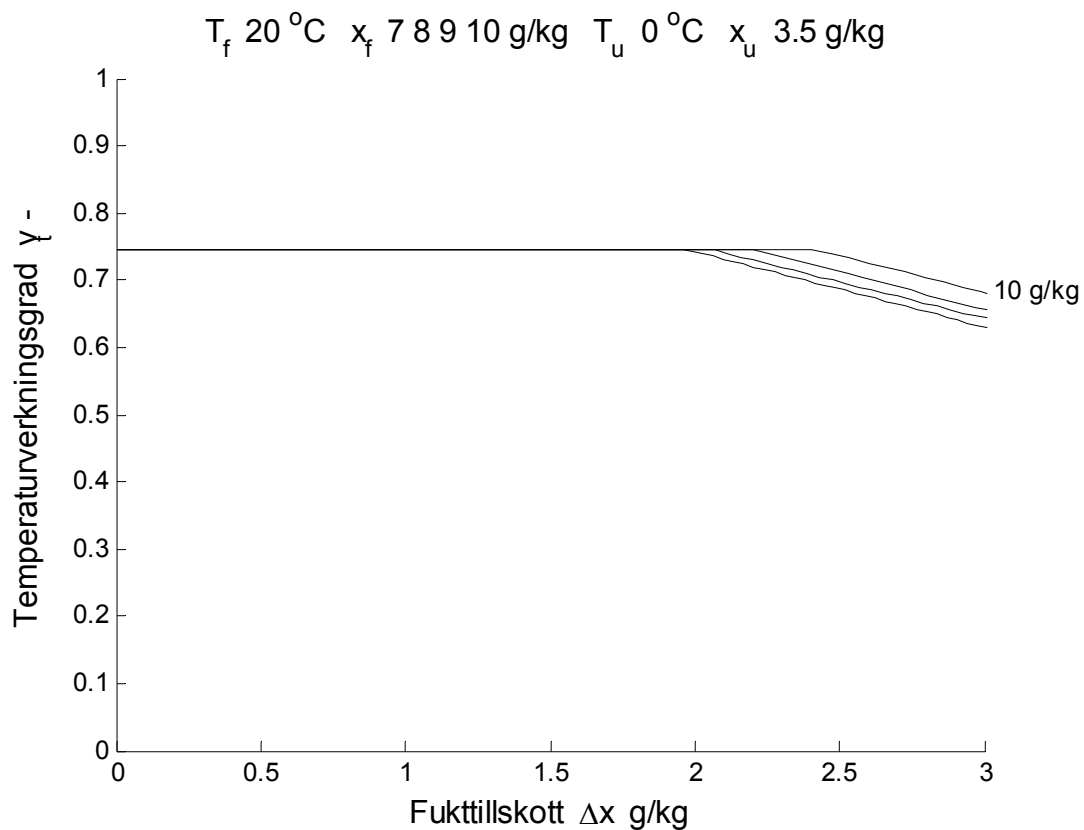
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 5.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 5.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 5.3 med minskande varvtal.



Figur 5.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.



Figur 5.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.



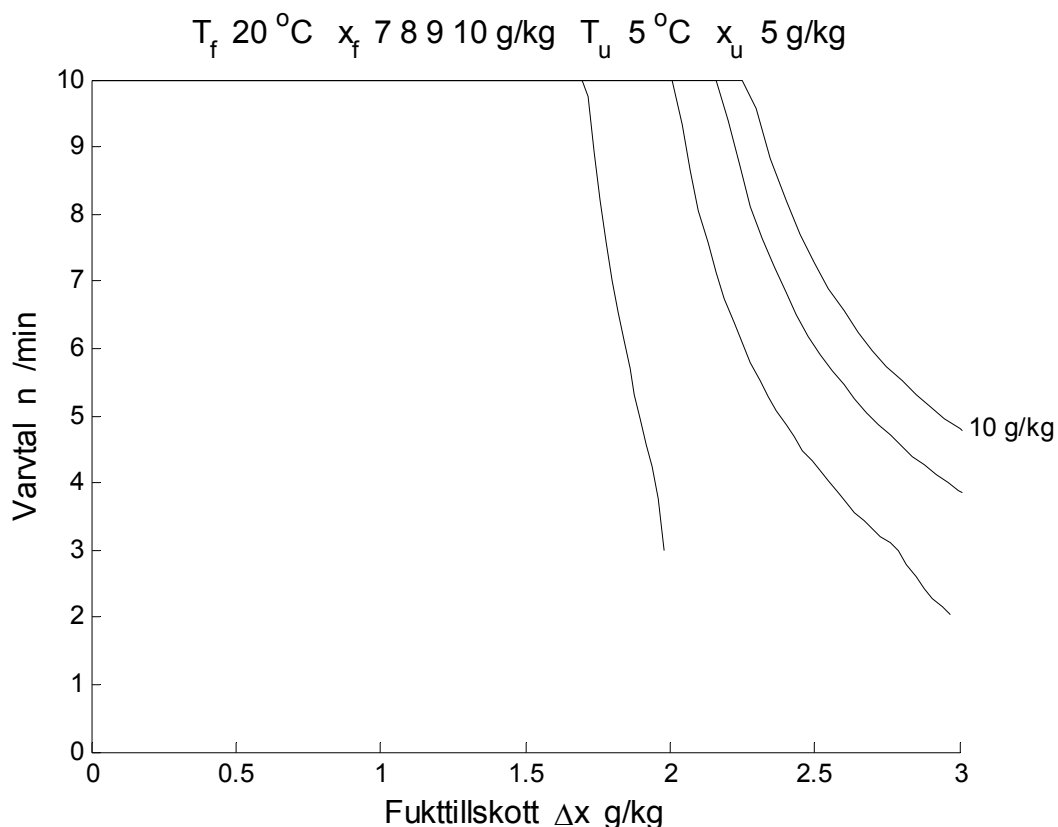
Figur 5.3 Temperaturverkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.

6 Fuktregering 7-10 g/kg vid 5 °C

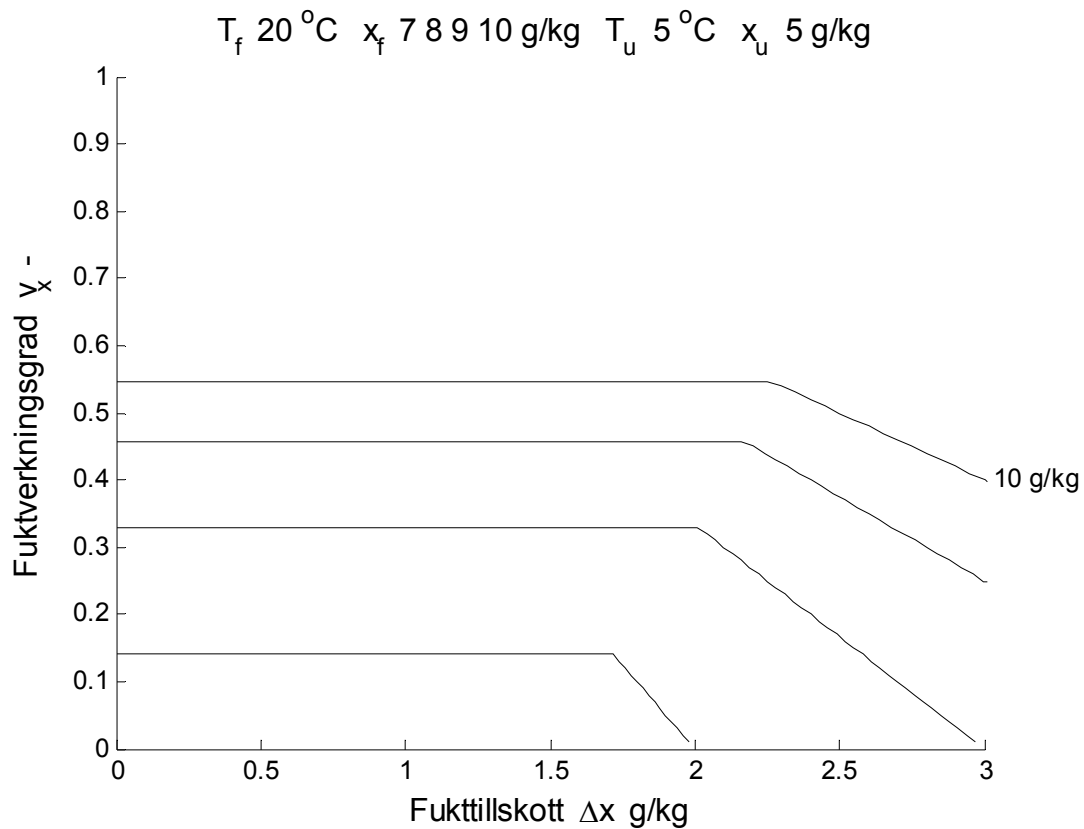
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 7, 8, 9 eller 10 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för ett givet uteklimat 5 °C och 5 g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 6.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

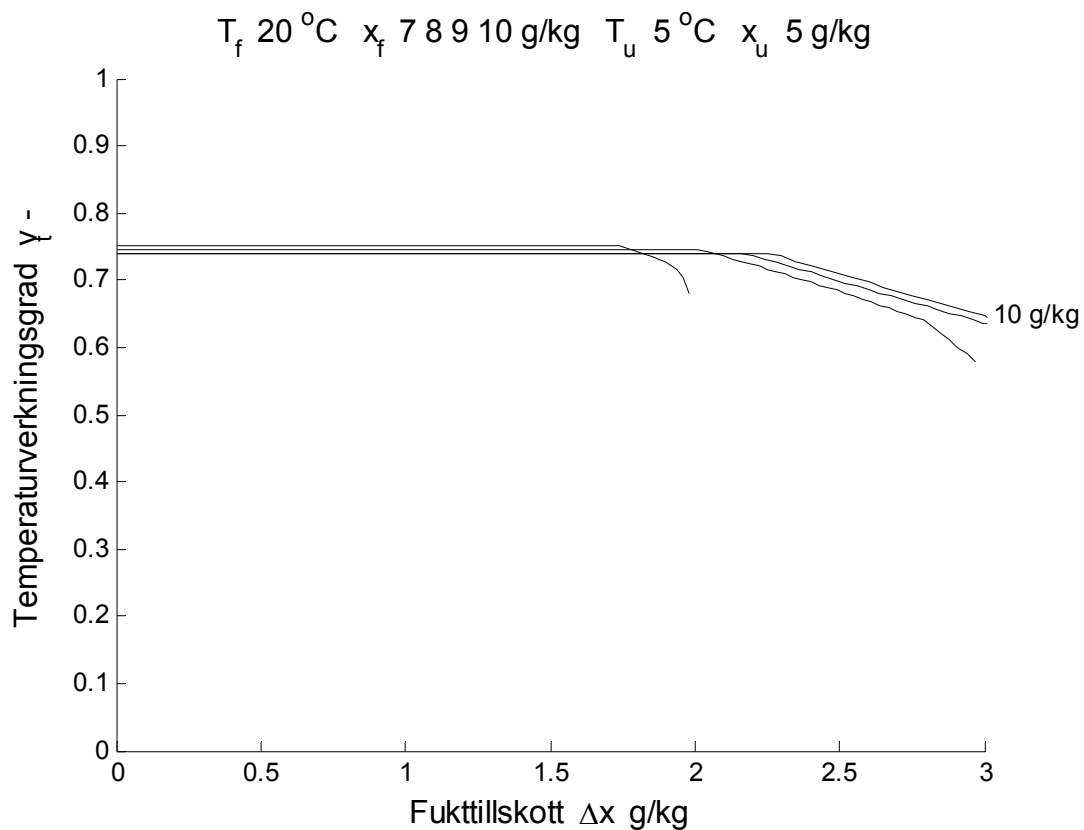
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 6.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 6.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 6.3 med minskande varvtal.



Figur 6.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 7, 8, 9 och 10 g/kg.



Figur 6.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för $x_f 7, 8, 9$ och $10\ \text{g/kg}$.



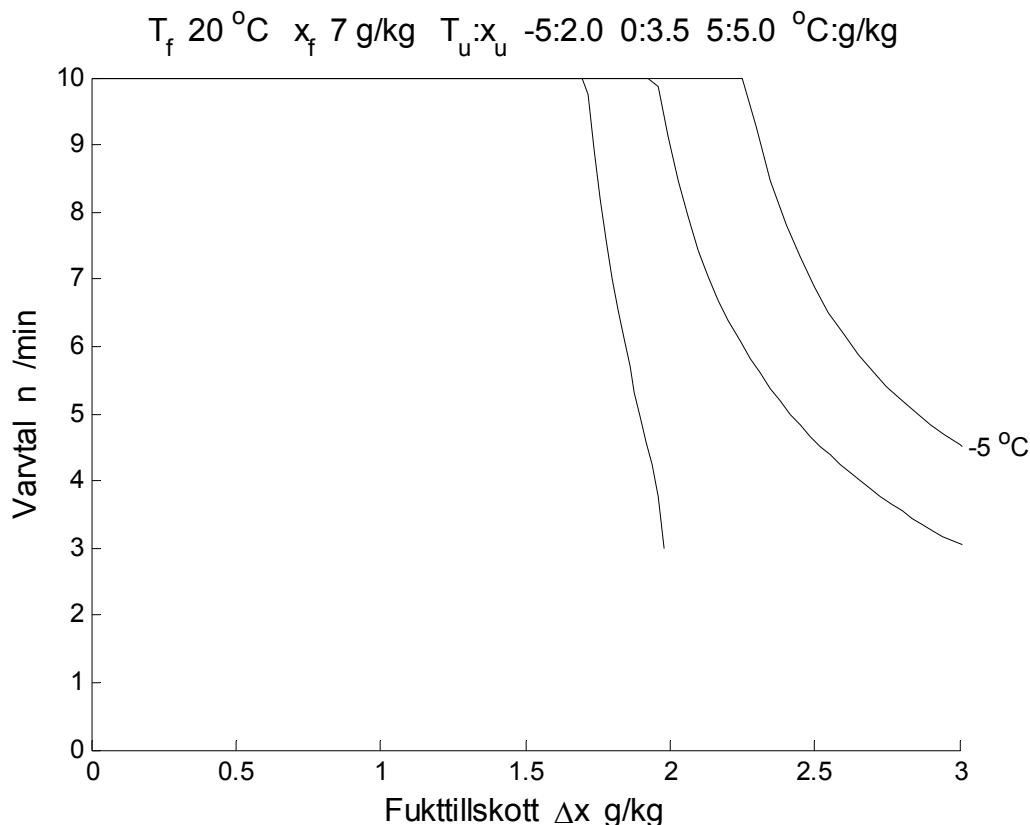
Figur 6.3 Temperaturverkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för $x_f 7, 8, 9$ och $10\ \text{g/kg}$.

7 Fuktregering 7 g/kg vid -5, 0 och 5 °C

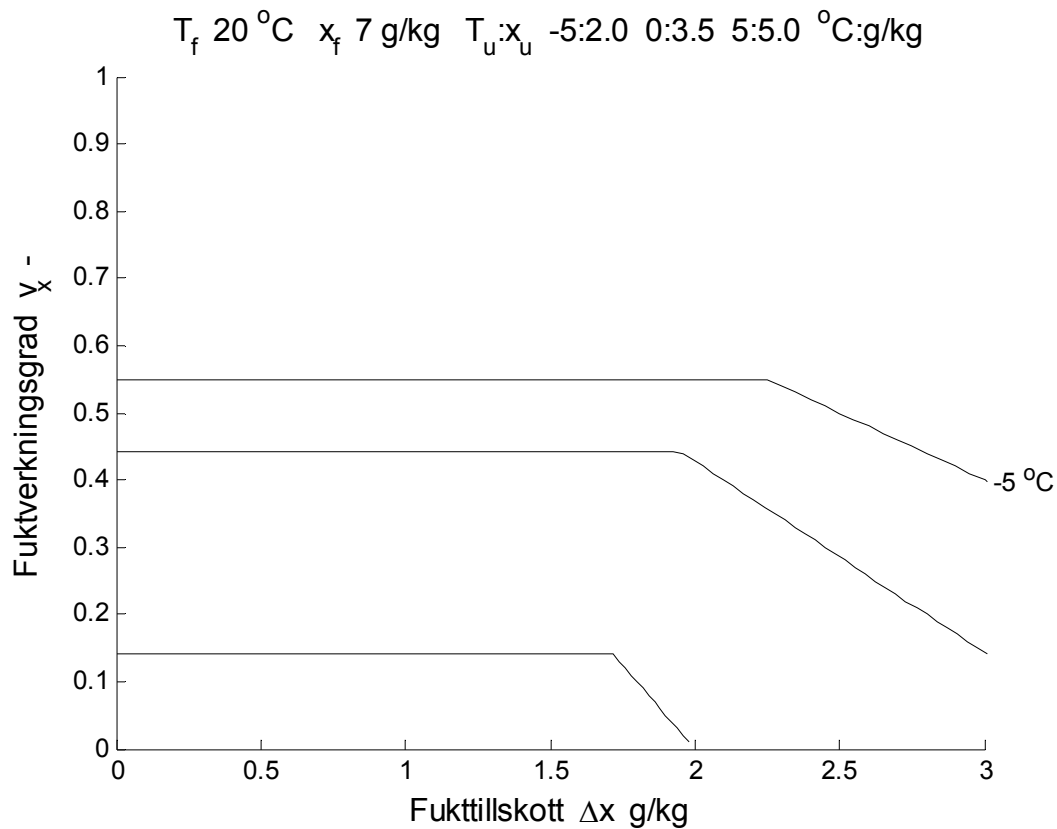
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 7 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för tre olika uteklimat -5:2, 0:3.5 och 5:5 °C:g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 7.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

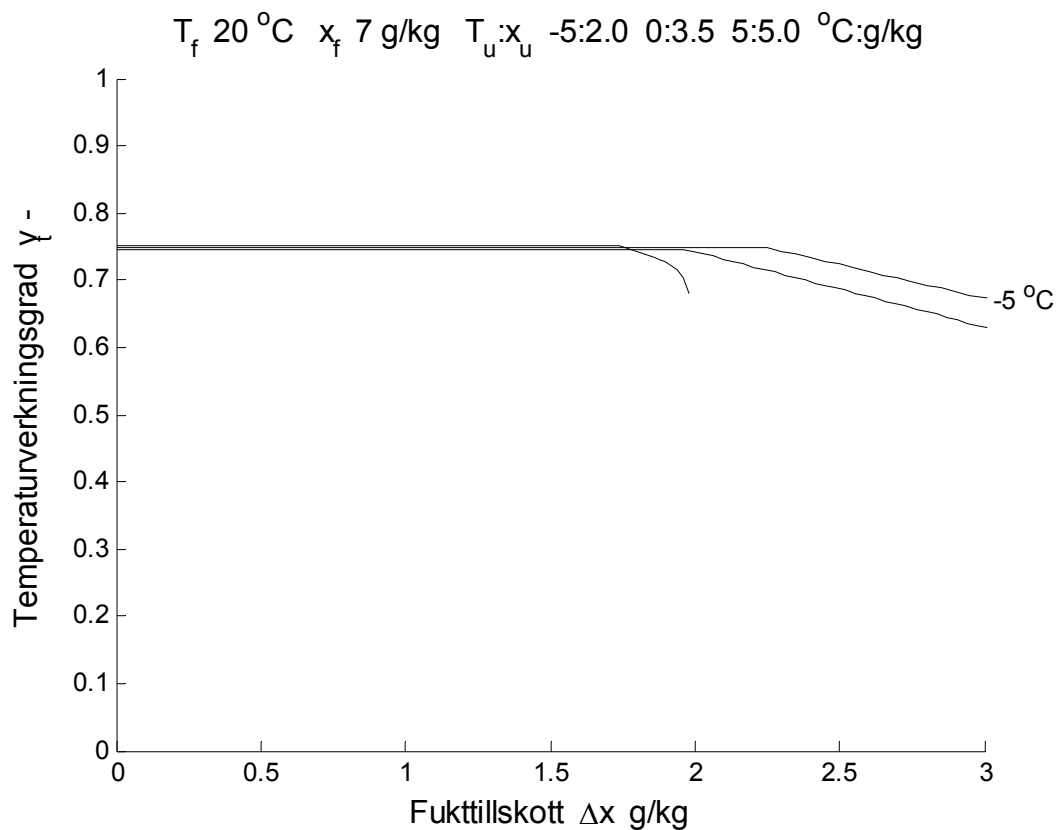
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 7.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 7.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 7.3 med minskande varvtal.



Figur 7.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 7 g/kg och olika klimat.



Figur 7.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för x_f 7 g/kg olika klimat.



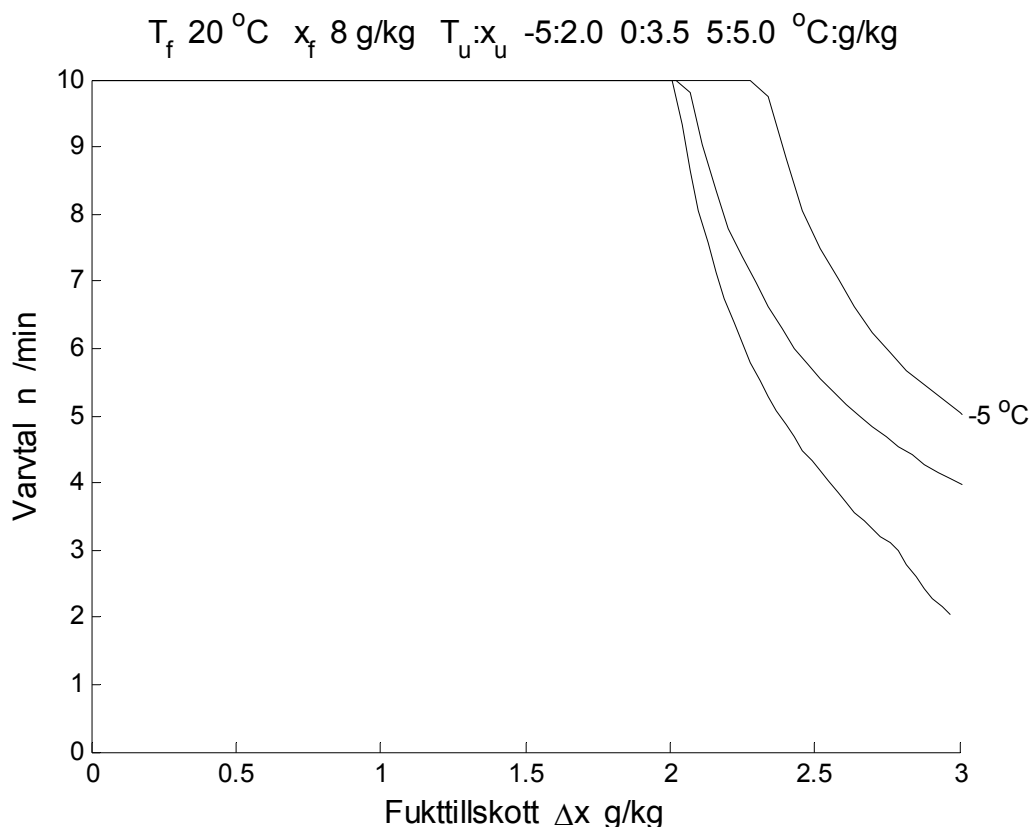
Figur 7.3 Verkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för x_f 7 g/kg och olika klimat.

8 Fuktregering 8 g/kg vid -5, 0 och 5 °C

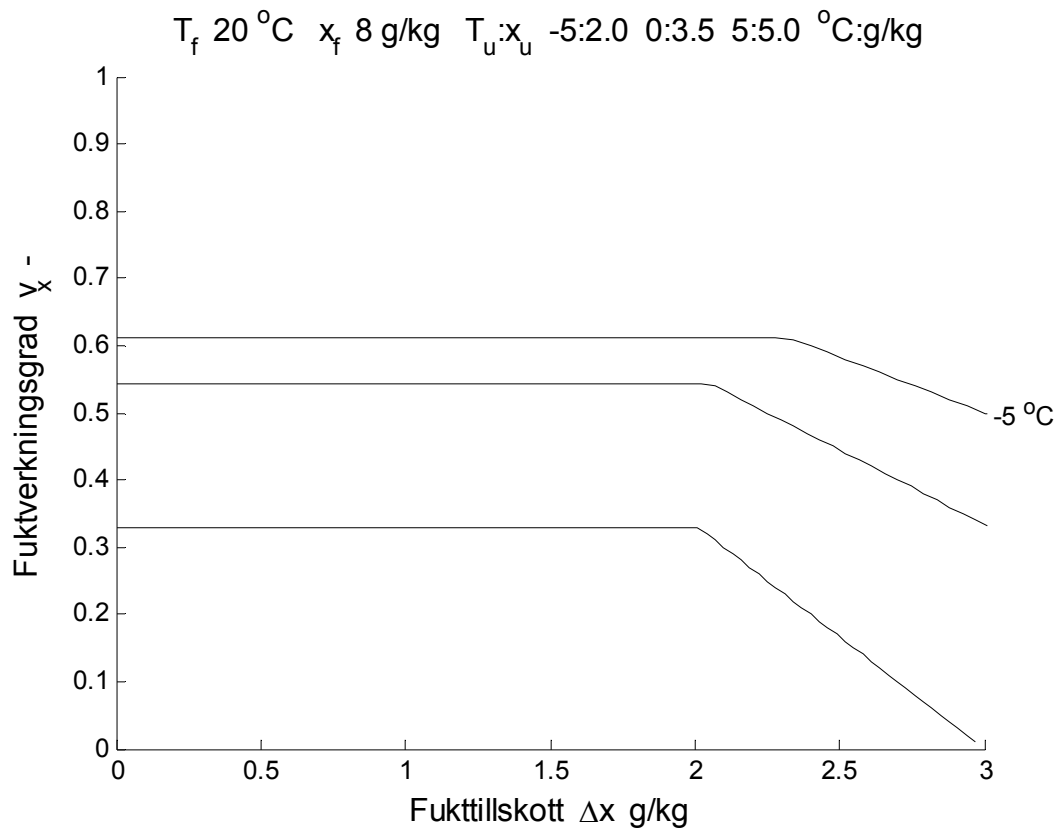
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 8 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för tre olika uteklimat -5:2, 0:3.5 och 5:5 °C:g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 8.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

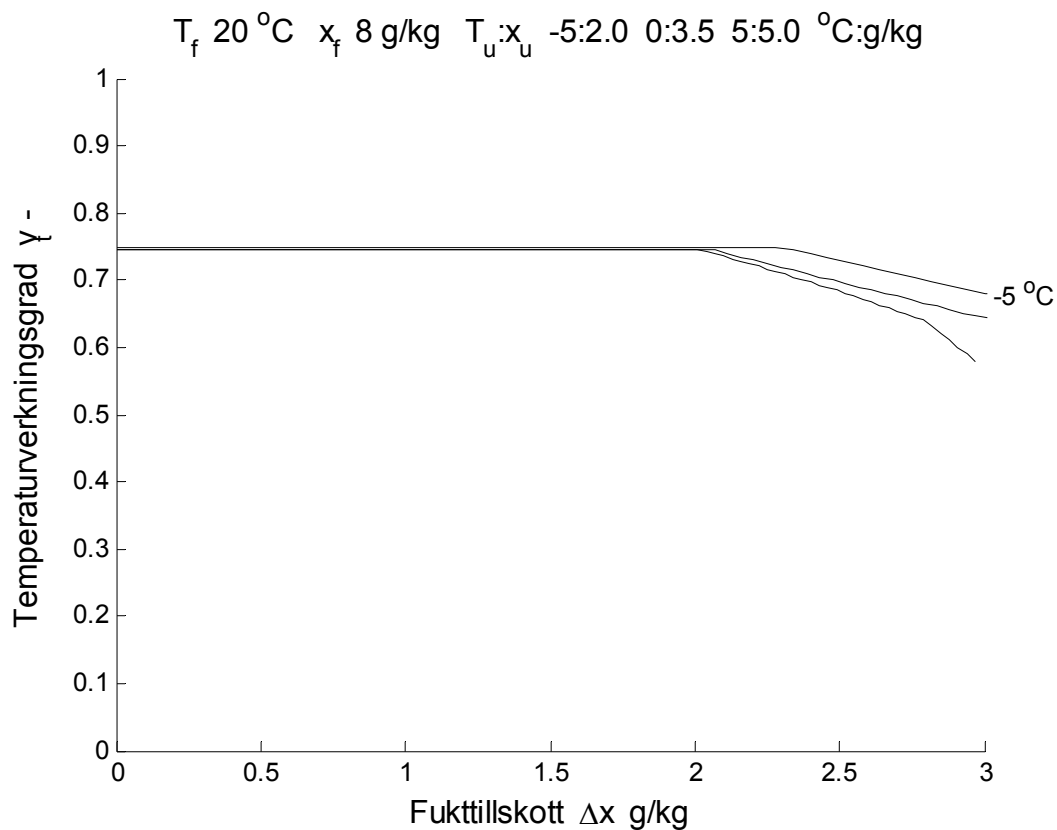
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 8.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 8.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 8.3 med minskande varvtal.



Figur 8.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 8 g/kg och olika klimat.



Figur 8.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för x_f 8 g/kg olika klimat.



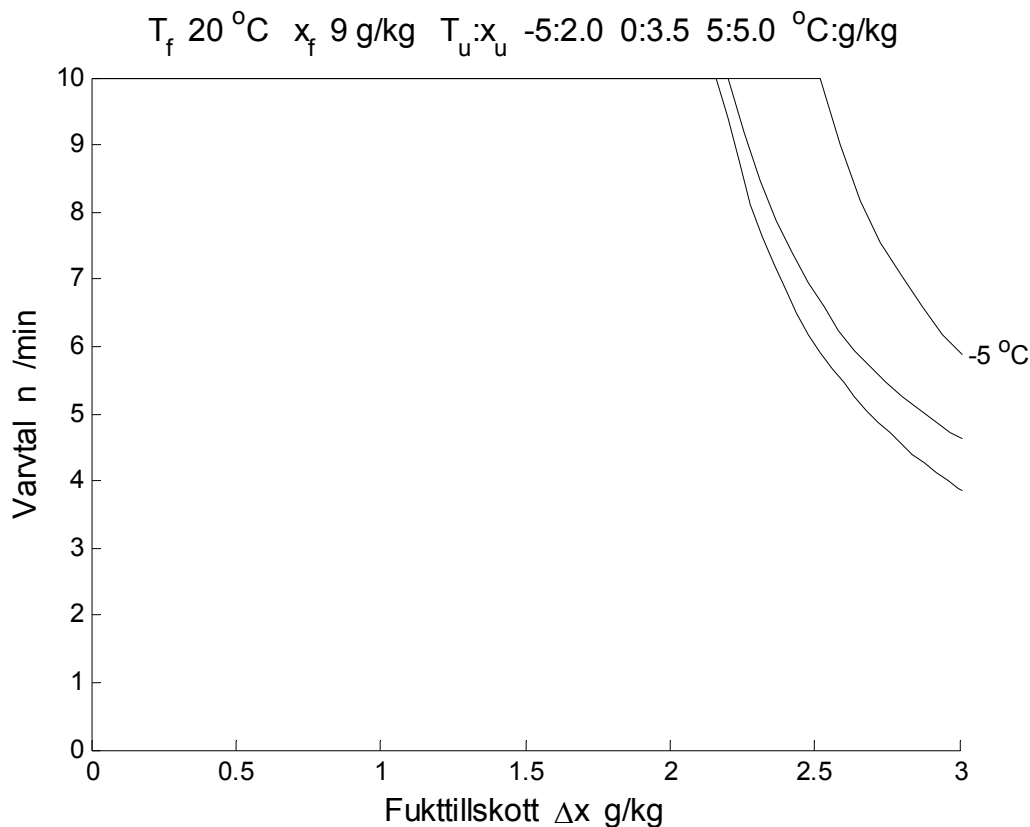
Figur 8.3 Verkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för x_f 8 g/kg och olika klimat.

9 Fuktregering 9 g/kg vid -5, 0 och 5 °C

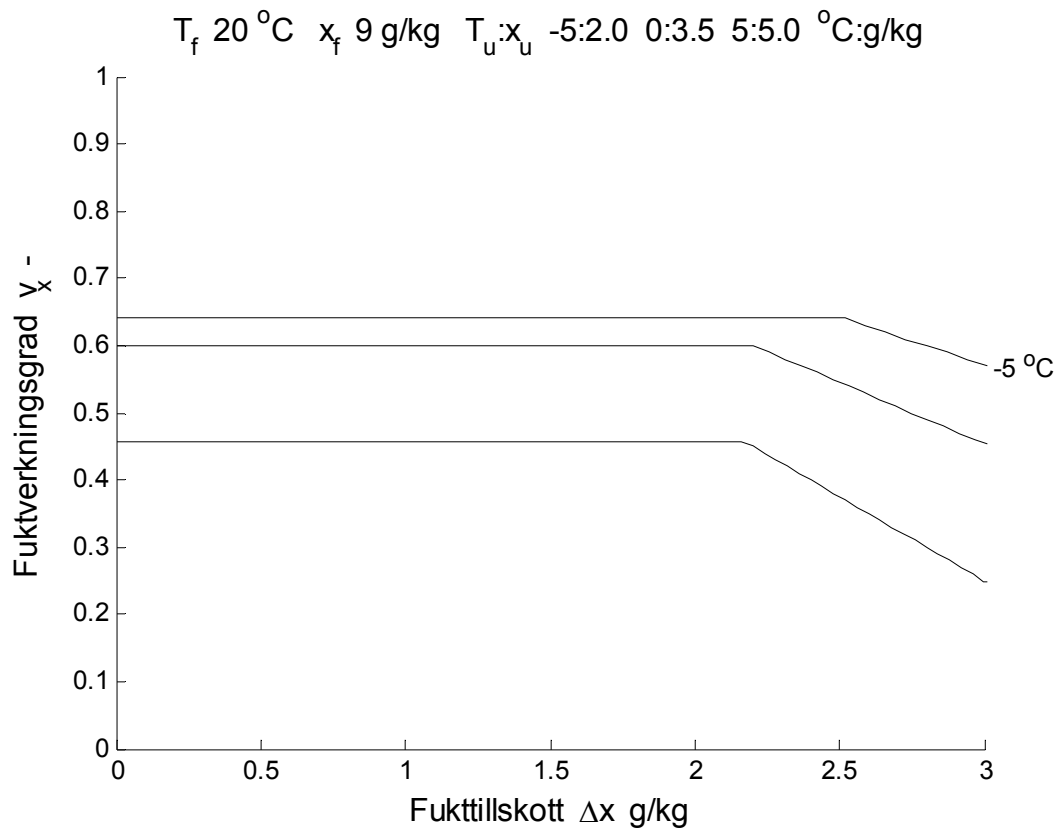
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 9 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för tre olika uteklimat -5:2, 0:3.5 och 5:5 °C:g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 9.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

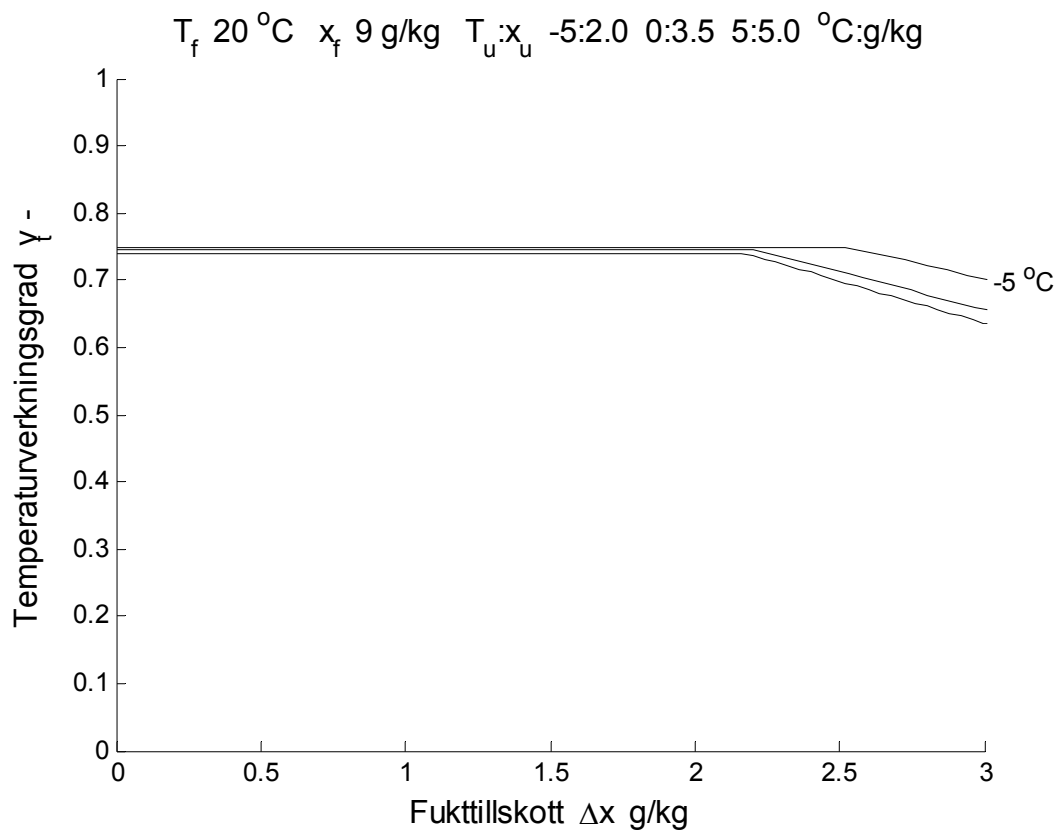
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 9.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 9.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 9.3 med minskande varvtal.



Figur 9.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 9 g/kg och olika klimat.



Figur 9.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för $x_f 9\text{ g/kg}$ olika klimat.



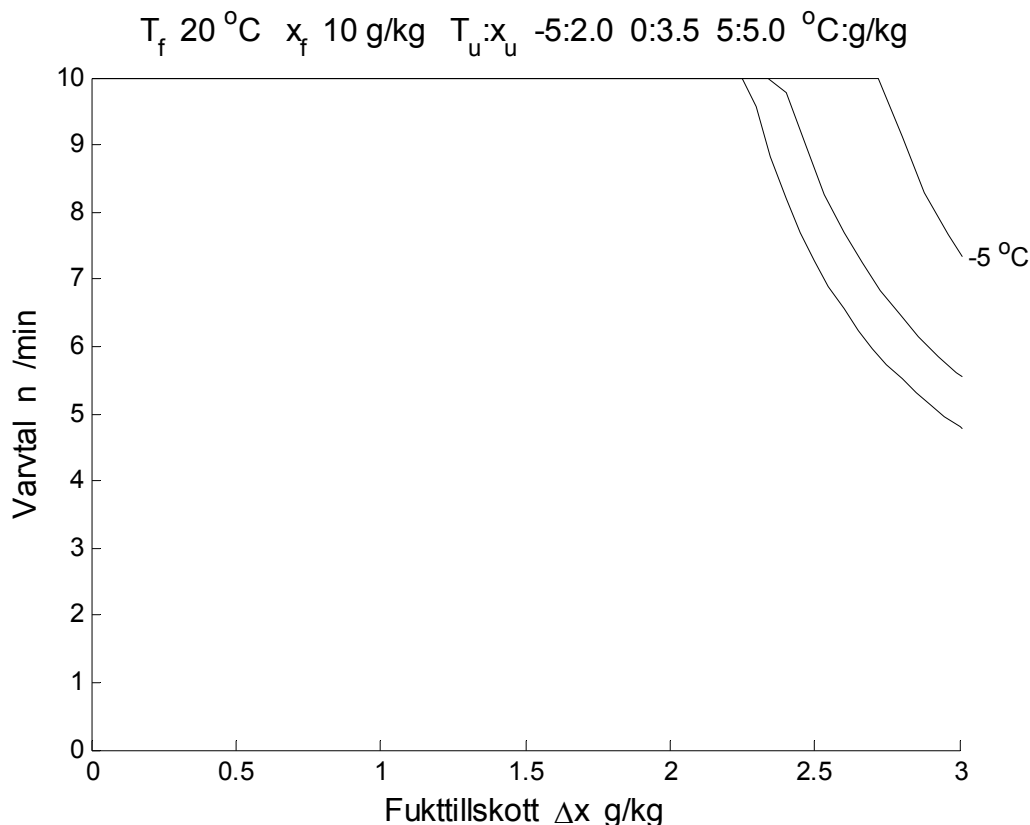
Figur 9.3 Verkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för $x_f 9\text{ g/kg}$ och olika klimat.

10 Fuktregering 10 g/kg vid -5, 0 och 5 °C

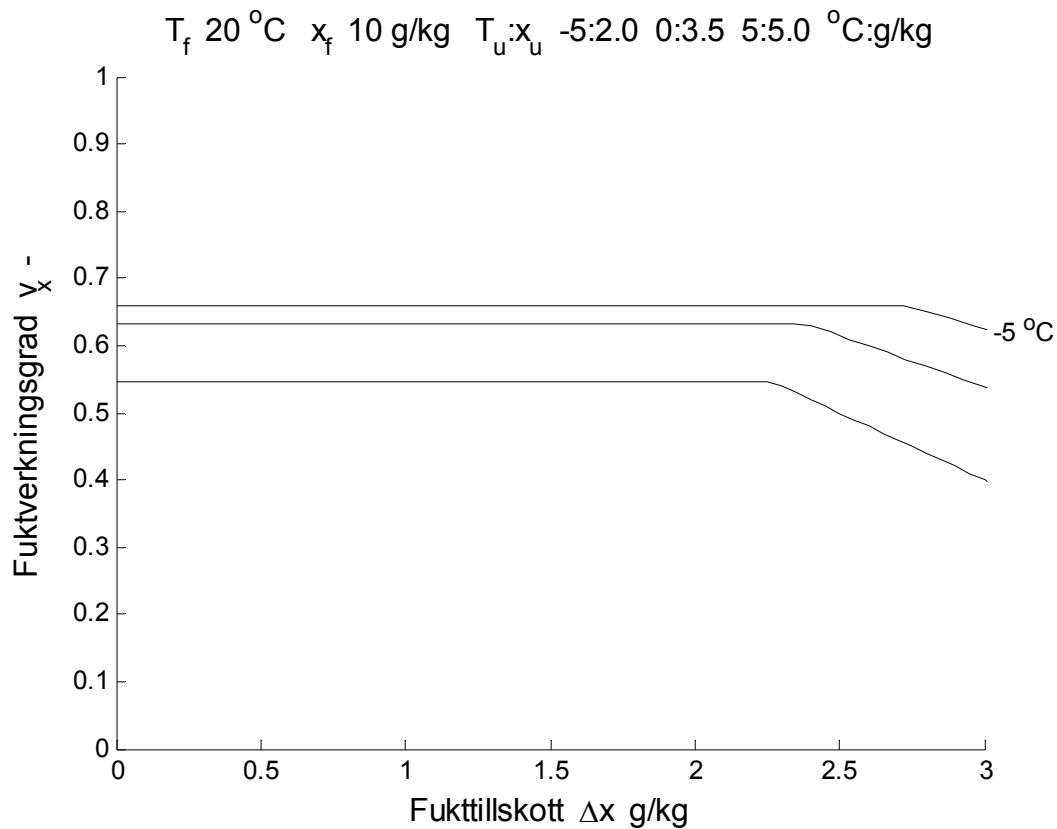
Syftet med detta avsnitt är att redovisa vilka varvtal som krävs för att begränsa rumsluftens vatteninnehåll till 10 g/kg som funktion av olika fukttillskott Δx g/kg och för tre olika uteklimat -5:2, 0:3.5 och 5:5 °C:g/kg och given frånluftstemperatur 20 °C.

Nödvändigt varvtal n /min redovisas i Figur 10.1 för de fyra kraven på högsta vatteninnehåll. Kurvorna visar att det är först för höga fukttillskott som varvtalet måste dras ner. Kurvorna visar också att ju högre vatteninnehåll som tillåts desto högre fukttillskott kan klaras av med högsta varvtal. Fukttillskottet bör inte vara över 2.5 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:25.

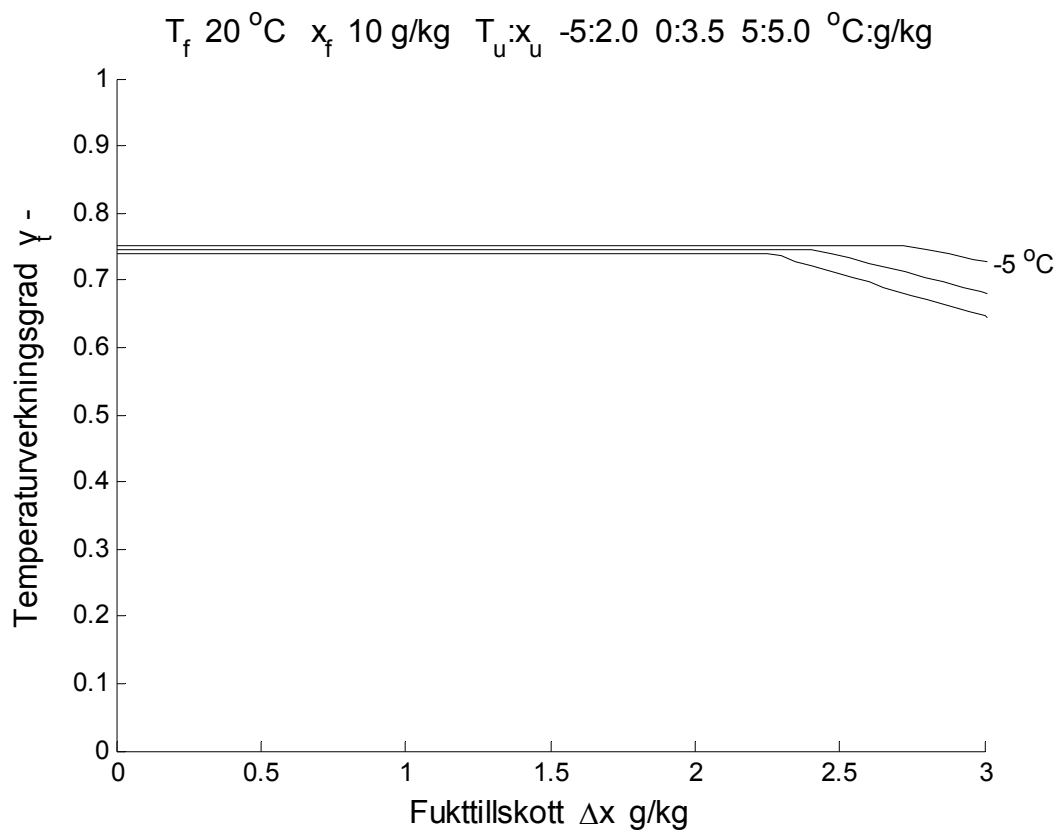
Fuktverkningsgrad η_x och temperaturverkningsgrad η_T redovisas i Figur 10.2-3 på samma sätt som funktion av fukttillskottet. Kurvorna i Figur 10.2 visar att fuktverkningsgrad avtar betydligt mer än temperaturverkningsgraden i Figur 10.3 med minskande varvtal.



Figur 10.1 Varvtal n /min som funktion av fukttillskott för x_f 10 g/kg och olika klimat.



Figur 10.2 Fuktverkningsgrad v_x - som funktion av fukttillskott för x_f 10 g/kg olika klimat.



Figur 10.3 Verkningsgrad v_t - som funktion av fukttillskott för x_f 10 g/kg och olika klimat.

7 Avslutning och slutsatser

Fuktåtervinning måste begränsas och det görs genom att minska rotorns varvtal samtidigt minskar temperaturverkningsgraden något, vilket har visats i avsnitt 4-10. En siffermässig sammanställning görs här.

Det finns två gränsvärden som berör uppfuktning och fukthalt i rumsluft. Vatteninnehållet för rumsluft skall inte överstiga 7 g/kg under längre tid vintertid enligt SOSFS 1999:21, vilket för temperaturen 21 °C motsvarar en relativ luftfuktighet om 0.45. Uppfuktningen av rumsluft bör inte heller regelmässigt överstiga 2.5 g/kg (3 g/m³) vintertid enligt SOSFS 1999:25.

Fuktregleringen sammanställs här med Tabell 11.1-3 uppdelat efter tre uteklimat, nämligen -5 °C och 2 g/kg, 0 °C och 3.5 g/kg samt 5 °C och 5 g/kg. Varvtid p_s , fuktverkningsgrad v_x - och temperaturverkningsgrad v_t - redovisas för alla kombinationer mellan fyra vatteninnehåll för frånluften 7, 8, 9 samt 10 g/kg och fem olika fukttillskott 1, 1.5, 2, 2.5 och 3 g/kg.

En anmärkning är att beräkningen för uteklimatet med -5 °C och 2 g/kg sker utan isbildning. Detta är en förenkling, men felet bedöms vara litet eftersom ångbildningsvärmets värde är flera gånger större än smältvärmets.

Siffrorna i Tabell 11.1 visar att fuktverkningsgraden endast skall regleras ner något för sex utav tjugo fall för att uppfylla kravet på frånluftens vatteninnehåll. Temperaturverkningsgraden blir 0.72, 0.67, 0.73, 0.68, 0.70 och 0.63 att jämföra med 0.75 för högsta varvtal.

Fukttillskott 2 g/kg eller mindre kräver ingen nerreglering. En förklaring till den marginella nerregleringen är att uteluftens vatteninnehåll är endast 2 g/kg. Detta innebär att fuktverkningsgraden endast behöver minskas något. Fyra sifferexempel för de olika frånluftskraven och för fukttillskott 3 g/kg blir 0.40, 0.50, 0.57 och 0.63 att jämföra med fuktverkningsgrad vid högsta varvtal 0.55, 0.61, 0.63 respektive 0.66.

En kommentar är att utan fuktåtervinning blir frånluftens vatteninnehåll lika med uteluftens vatteninnehåll utökats med själva fukttillskottet. Högsta möjliga värde för fallen i Tabell 11.1 blir därför högst 5 g/kg, vilket ligger klart under de fyra testfallens krav 7-10 g/kg.

Tabell 11.1 Varvtid p s, fuktverkningsgrad v_x - och temperaturverkningsgrad v_t - för fuktillskott Δx g/kg och frånluftens vatteninnehåll x_f g/kg för uteklimat med -5 °C och 2 g/kg

x_f g/kg	Δx g/kg	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
7.00	p s	6.00	6.00	6.00	8.70	13.23
7.00	v_x -	0.55	0.55	0.55	0.50	0.40
7.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.72	0.67
8.00	p s	6.00	6.00	6.00	7.83	11.89
8.00	v_x -	0.61	0.61	0.61	0.58	0.50
8.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.73	0.68
9.00	p s	6.00	6.00	6.00	6.00	10.17
9.00	v_x -	0.64	0.64	0.64	0.64	0.57
9.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.75	0.70
10.00	p s	6.00	6.00	6.00	6.00	8.13
10.00	v_x -	0.66	0.66	0.66	0.66	0.63
10.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.75	0.73

Siffrorna i Tabell 11.2 för uteklimat 0 °C och 3.5 g/kg visar att fuktverkningsgraden skall regleras ner för nio utav tjugo fall för att uppfylla kravet på frånluftens vatteninnehåll. Temperaturverkningsgraden blir 0.74, 0.69, 0.63, 0.70, 0.64, 0.71, 0.66, 0.74 och 0.68 att jämföra med 0.75 för högsta varvtal. Fuktillskott 2 g/kg eller mindre kräver endast en nerreglering. En förklaring till att nerregleringen ökar är att uteluftens vatteninnehåll är 3.5 g/kg. Detta innebär att fuktverkningsgraden behöver minska betydligt mer. Fyra siffer-exempel för de olika frånluftskraven och för fuktillskott 3 g/kg blir 0.14, 0.33, 0.45 och 0.54 att jämföra med fuktverkningsgrad vid högsta varvtal 0.44, 0.54, 0.60 respektive 0.63.

Tabell 11.2 Varvtid p s, fuktverkningsgrad v_x - och temperaturverkningsgrad v_t - för fuktillskott Δx g/kg och frånluftens vatteninnehåll x_f g/kg för uteklimat med 0 °C och 3.5 g/kg

x_f g/kg	Δx g/kg	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
7.00	p s	6.00	6.00	6.65	13.04	19.67
7.00	v_x -	0.44	0.44	0.43	0.29	0.14
7.00	v_t -	0.75	0.75	0.74	0.69	0.63
8.00	p s	6.00	6.00	6.00	10.62	15.07
8.00	v_x -	0.54	0.54	0.54	0.44	0.33
8.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.70	0.64
9.00	p s	6.00	6.00	6.00	8.84	12.92
9.00	v_x -	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45
9.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.71	0.66
10.00	p s	6.00	6.00	6.00	6.95	10.77
10.00	v_x -	0.63	0.63	0.63	0.62	0.54
10.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.74	0.68

Siffrorna i Tabell 11.3 för uteklimat 5 °C och 5 g/kg visar att två fall är omöjliga, eftersom uteluftens vatteninnehåll 5 g/kg utökad med fukttillskotten 2.5 eller 3 g/kg är större än 7 g/kg. Två fall ligger exakt på gränsen med krav på fuktverkningsgrad noll.

För övrigt sker nerreglering i olika omfattning för fem fall för att uppfylla kravet på frånluftens vatteninnehåll. Temperaturverkningsgraden blir 0.68, 0.70, 0.64, 0.71 och 0.65 att jämföra med 0.75 och 0.74 för högsta varvtal. Fukttillskott 1.5 g/kg eller mindre kräver ingen nerreglering.

Tabell 11.3 Varvtid p s, fuktverkningsgrad v_x - och temperaturverkningsgrad v_t - för fukttillskott Δx g/kg och frånluftens vatteninnehåll x_f g/kg för uteklimat med 5 °C och 5 g/kg

x_f g/kg	Δx g/kg	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
7.00	p s	6.00	6.00			
7.00	v_x -	0.14	0.14	= 0	< 0	< 0
7.00	v_t -	0.75	0.75			
8.00	p s	6.00	6.00	6.00	14.05	
8.00	v_x -	0.33	0.33	0.33	0.17	= 0
8.00	v_t -	0.75	0.75	0.75	0.68	
9.00	p s	6.00	6.00	6.00	9.93	15.46
9.00	v_x -	0.46	0.46	0.46	0.38	0.25
9.00	v_t -	0.74	0.74	0.74	0.70	0.64
10.00	p s	6.00	6.00	6.00	8.26	12.51
10.00	v_x -	0.55	0.55	0.55	0.50	0.40
10.00	v_t -	0.74	0.74	0.74	0.71	0.65

Resultatet i Tabell 11.1-3 kan sammanfattas med en första slutsats att temperaturverkningsgraden endast minskar marginellt när krav på frånluftens vatteninnehåll skall uppfyllas för olika klimat och fukttillskott. Gränsvärdena enligt SOSFS med frånluftens vatteninnehåll 7 g/kg och fukttillskott 2.5 g/kg samt de tre uteklimaten i Tabell 11.1-3 resulterar i fukt- och temperaturverkningsgrad 0.50 respektive 0.72, 0.29 respektive 0.69 samt omöjligt att uppfylla.

En andra slutsats är att behovet av nerreglering ökar med uteluftens vatteninnehåll. Detta minskar energiåtervinningen något, men samtidigt minskar behovet av energiåtervinning, eftersom utetemperatur också ökar.

En tredje farlig slutsats är att uteklimat med minusgrader kräver endast mindre eller ingen nerreglering, eftersom uteluftens vatteninnehåll är lågt. En viktig påpekande är att beräkningsmodellen inte behandlar isbildning och därmed inte heller möjlig igenfrostning med vad det kan innebära för till- och frånluftslöden samt inneklimat.

Slutsats för renblåsning är att den minskar både fukt och temperaturverkningsgrad något. Fuktverkningsgraden minskar både absolut och relativt sett mer än temperaturverkningsgraden för samma varvtal.