



LUND UNIVERSITY

Utetemperaturberoende årsenergibehov - Teoridel

Jensen, Lars

2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2008). *Utetemperaturberoende årsenergibehov - Teoridel*. (TVIT; Vol. TVIT-7023). 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

Utetemperaturberoende årsenergibehov

Teoridel

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2008
Rapport TVIT--08/7023



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.

Utetemperaturberoende årsenergibehov

Teoridel

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2008

ISRN LUTVDG/TVIT--08/7023--SE(58)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Innehållsförteckning

1	Inledning och några begrepp	5
	Teoridel	5
	Utetemperaturberoende effekt och energi	5
	Metodik och tillämpning	6
	Samband mellan gradtimmar, drifttid och frekvens	6
	Funktioner för gradtimmar, drifttid och frekvens	9
	Graddagar	9
	Varaktighetsdiagram	10
2	Beräkning med gradtimmar	11
	Gradtimmar mellan godtyckliga temperaturer	11
	Gradtimmar för en del av ett dygn	13
	Gradtimmar för ett begränsat temperaturintervall	15
	Beräkning av gradtimmar	16
	Tabeller för gradtimmar	20
3	Beräkning med årsmedeltemperatur	21
4	Tillämpning på uppvärmning	25
	Transmissionseffektbehov	25
	Ventilationseffektbehov	26
	Gratisvärme	26
	Totalt effektbehov	26
	Årsenergibehov	27
	Utetemperaturberoende innetemperatur och gratisvärme	30
5	Tillämpning på ventilationsvärme	31
	Fall <i>a</i> frånluftens årsenergibehov	35
	Fall <i>b</i> tilluftens årsenergibehov	35
	Fall <i>c</i> årsenergibehov för normal tillsatsvärme	38
	Fall <i>d</i> årsenergibehov för extra tillsatsvärme	40
	Fall <i>e</i> årsenergibehov för tillsatsvärme	44
6	Tillämpning på ventilationskyla	45
7	Drifttids- och gradtimmefunktion	49
	Tabellappendix A-F	53

1 Inledning och några begrepp

Det totala energibehovet för en byggnad är summan av den energi som krävs för uppvärmning, ventilation, tappvarmvatten, driftel för pumpar och fläktar, annan fastighetsel samt hushållsel. Största delen av energibehovet för uppvärmning, kylning och ventilation är utetemperaturberoende.

Energibehovet beräknas därför det ingår som en viktig post då driftskostnaderna för en byggnad ska bestämmas och det beräknas för att bedöma den totala livskostnaden för en investering så väl för en ändring i byggnadens klimatskal som en investering i ett nytt luftbehandlingsaggregat med värmeåtervinning.

Teoridel

Denna rapport är avsett som ett kursmaterial, vilket är uppdelat i en teoridel och en exempeldel. Denna uppdelning görs för att vid en tentamens räknedel kunna tillåta viss litteratur utan några genomförda beräkningsexempel. Exempeldelen kommer att tryckas som rapport TVIT—08/7029.

Utetemperaturberoende effekt och energi

Det förutsätts att den utetemperaturberoende effekten P är positiv i värmefallet och är negativ i kylfallet. Den utetemperaturberoende värmeeffekten P kan alltid skrivas en konstant Q med sorten W/K multiplicerad med temperaturskillnad mellan en given gränstemperatur T_g och utetemperaturen T_u som följer:

$$P = Q (T_g - T_u) \quad T_g > T_u \quad (\text{W}) \quad (1.1)$$

Det utetemperaturberoende årsvärmebehovet E beräknas som en summering av den utetemperaturberoende effekten P över tid, vilket matematiskt kan skrivas som en summering av medeleffekter P för ett tidsintervall dt på formen:

$$E = \sum^{\text{året}} P dt \quad P > 0 \quad (\text{Wh}) \quad (1.2)$$

Årsvärmebehovet enligt (1.2) kan nu med utnyttjande av (1.1) skrivas som följer:

$$E = Q \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad T_g > T_u \quad (\text{Wh}) \quad (1.3)$$

Införs begreppet gradtimmar $G(T_g)$ som motsvarar summan i (1.3)

$$G(T_g) = \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad T_g > T_u \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (1.4)$$

Nu kan årsvärmebehovet skrivas som en produkt mellan den specifika effekten enligt konstanten Q och antalet gradtimmar $G(T_g)$ för en givna gränstemperaturen T_g :

$$E = Q G(T_g) \quad (\text{Wh}) \quad (1.5)$$

Metodik och tillämpning

En mer detaljerad metodik för att beräkna olika årsenergibehov redovisas i avsnitt 2 för godtyckliga utetemperaturberoende temperaturskillnader, för delar av dygnet och för olika krav på utetemperaturintervall.

En förenklad beräkningsmetod med årsmedelvärden redovisas i avsnitt 3, vars beräkningsfel kan vara försumbart i många fall. Felet är för värmefallet lika med kylbehovet och omvänt.

Beräkningsmetodiken för beräkning med gradtimmar tillämpas på för ett sammanslaget årsenergibehov för uppvärmning och ventilation i avsnitt 4. Detta kan göras genom att ventilationsluften antas värmas till rumstemperatur och att frånluftstemperaturen är lika med rumstemperaturen.

Det finns totalt sex olika beräkningsfall för årsenergibehov när det gäller ventilation. Fyra fall avser värmebehov för frånluft, tilluft, normal tillsatsvärme och tillsatsvärme vid begränsad återvinning, vilka behandlas i avsnitt 5. De två övriga fallen avser kylbehov för tilluft, vilka redovisas i avsnitt 6.

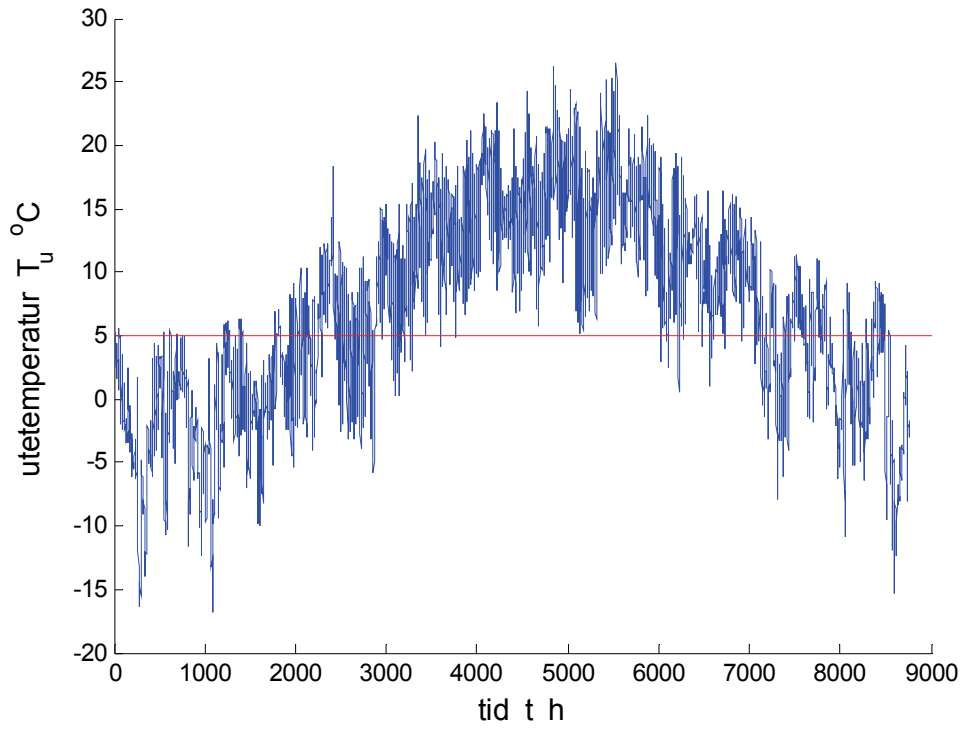
Samband mellan gradtimmar, drifttid och frekvens

Hur utetemperaturen för ett år kan bearbetas på ett flertal sätt för att kunna genomföra olika energiberäkning skall här redovisas med timmätvärden från Lindås. Det stora antalet mätdata, den måttliga dygnsvariation och den begränsade tidsaxeln gör att temperaturkurvan med timvärden i Figur 1.1 inte kan användas för en detaljanalys.

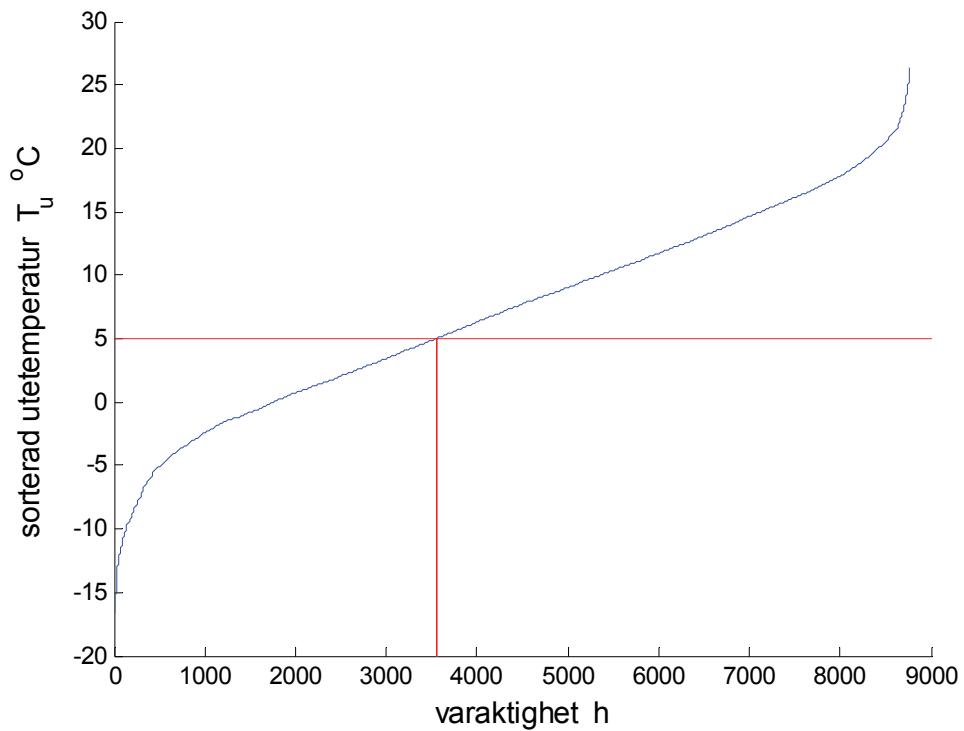
Ett ännu bättre redovisningssätt är att sortera utetemperaturen efter stigande temperatur. Resultatet redovisas i Figur 1.2. Det går nu att enkelt avgöra hur många timmar som utetemperaturen är över eller under en given temperaturgräns.

Ytan under en given temperaturgräns som i Figur 1.2 och mellan den sorterade utetemperaturkurvan har sorten $^{\circ}\text{Ch}$ och är proportionell mot energibehovet för uppvärmning från utetemperatur till den givna temperaturgränsen.

Ytan över en given temperaturgräns som i Figur 1.2 och mellan den sorterade utetemperaturkurvan är proportionell mot energibehovet för kylning från utetemperatur till den givna temperaturgränsen.



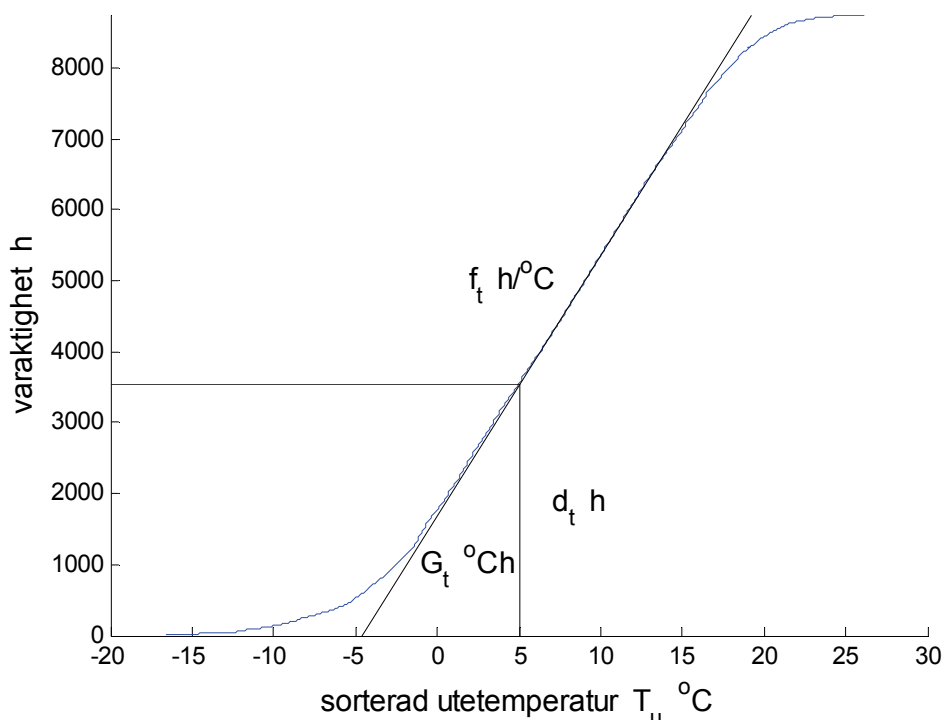
Figur 1.1 Utetemperatur för ett år från Lindås.



Figur 1.2 Sorterade timmätvärden för ett år från Lindås.

Figur 1.2 kan användas som ett funktionsdiagram för att beskriva olika temperaturer för uppvärmning och ventilation som en linjär funktion av utetemperaturen. Om utetemperaturkurvan i Figur 1.2 förenklas till en rät linje innebär att alla dessa temperaturer också blir räta linjer och att den linjära tidsaxeln också kan graderas som en linjär utetemperaturaxel.

Om axlarna i Figur 1.2 kastas om fås ett diagram för drifttiden. Det går att från detta diagram i Figur 1.3 direkt läsa av drifttiden och frekvens som funktion av utetemperatur. Ytan under kurvan i Figur 1.3 är lika med gradtimmevärdet.



Figur 1.3 Definition av gradtimmevärde, varaktighet eller drifttid och frekvens för utetemperaturen för ett år från Lindås.

Drifttiden är en första derivata av gradtimmefunktionen för med avseende på gränstemperaturen den aktuella gränstemperaturen. Detta inses av att om gränstemperaturen ändras obetydligt, då ändras antalet gradtimmar lika med den aktuella drifttiden d_t gånger ändringen i gränstemperatur. Drifttiden kan skattas väl med kända gradtimmevärden med förstaderivataapproximationen enligt nedan.

$$d_t(T_g) = [G_t(T_g + h) - G_t(T_g - h)] / 2h \quad (h) \quad (1.6)$$

Kurvans lutning för drifttiden i Figur 1.3 anger samtidigt frekvensen för utetemperaturer med sorten $h/^\circ\text{C}$. En hög lutning är lika med en hög frekvens och ökar drifttiden mer med ökande utetemperatur. Frekvensen anger hur ofta utetemperaturen är omkring något gradtal. Frekvensen är en förstaderivata av drifttidsfunktionen och därmed en andraderivata av gradtimmefunktionen. Frekvensfunktionen för utetemperaturen kan skattas med andraderivatapproximationen på formen

$$f_h(T_g) = [G_t(T_g + h) - 2 G_t(T_g) + G_t(T_g - h)] / h^2 \quad (\text{h}/^\circ\text{C}) \quad (1.7)$$

Funktioner för gradtimmar, drifttid och frekvens

Sambandet mellan gradtimmar, drifttid och frekvens innebär att om en av de tre är given kan de övriga två beräknas. Drifttiden är ju förstaderivatan av gradtimmefunktionen. Frekvensen är förstaderivatan av driftsfunktionen och andraderivatan av gradtimmefunktionen. Det gäller också omvänt att drifttiden är integralen av frekvensfunktionen och att gradtimmefunktionen är integralen av drifttidsfunktionen.

Analytiska förenklade klimatfunktioner kan vara användbara för att kunna beräkna olika optimeringsproblem, vilka bortsett från klimatet kan beskrivas med analytiska uttryck. Om frekvensfunktionen antas vara konstant i ett begränsat intervall och noll för övrigt blir drifttidsfunktionen en linjär funktion och gradtimmefunktionen en kvadratisk funktion för det begränsade temperaturintervallet.

Hur förenklade funktioner för frekvens, drifttid och gradtimmar kan bestämmas redovisas sist i avsnitt 7. Exempel på olika tillämpningar av dessa förenklade funktioner för drifttid och gradtimmar redovisas i rapporten TVIT—08/7027.

Graddagar

Årsvärmebehov har tidigare beräknats med ett äldre begrepp graddagar (egentligen graddygn). Graddagar beräknas som en summa över året mellan en fix inne-temperatur 17°C och utetemperaturen, när utetemperaturen är lägre än 11°C . Antalet graddagar varierar från 3000 till 6000 i Sverige för ett normalår.

Gränsen 17°C valdes en gång i tiden för att gratisvärmestillskottet antogs täcka värmebehovet ner till 17°C . Gränsen 11°C valdes för att över denna utetemperatur antogs att gratisvärmestillskottet från sol täcker hela värmebehovet upptill 17°C och för att uppvärmningen oftast är avstängd under sommaren. Denna fasta gränstemperaturgräns stämmer inte överens med nya byggnaders gränstemperatur, vilken kan vara betydligt lägre än 17°C och ner mot 0°C . Årsenergiberäkningar skall därför inte ske med graddagar.

Varaktighetsdiagram

En beräkningsmetod för energiberäkningar för främst ventilation grundar sig på varaktighetsdiagrammet för uteluftens temperatur eller energiinnehåll. Varaktighetsdiagrammet är en grafisk framställning av en gradtimmetabell och eftersom gradtimmetabellen ger ett värde direkt kommer beräkningstekniken med varaktighetsdiagram inte att redovisas här.

Begreppet varaktighetsdiagram finns inom många olika områden och används för att beskriva hur en variabel varierar över ett givet tidsintervall normalt ett år. Ett varaktighetsdiagram visar hur ofta en variabel är över eller under ett visst värde under året. Ett varaktighetsdiagram konstrueras enkelt genom att sortera variabeln i stigande eller ibland även fallande ordning och rita upp den sorterade variabeln som funktion en tidsaxel vanligen 8760 h. Ytan mellan varaktighetskurvan för utetemperaturen för en viss ort och en fix temperaturgräns får sorten °Ch och används för att räkna fram årsvärmebehovet för motsvarande temperaturgräns.

2 Beräkning med gradtimmar

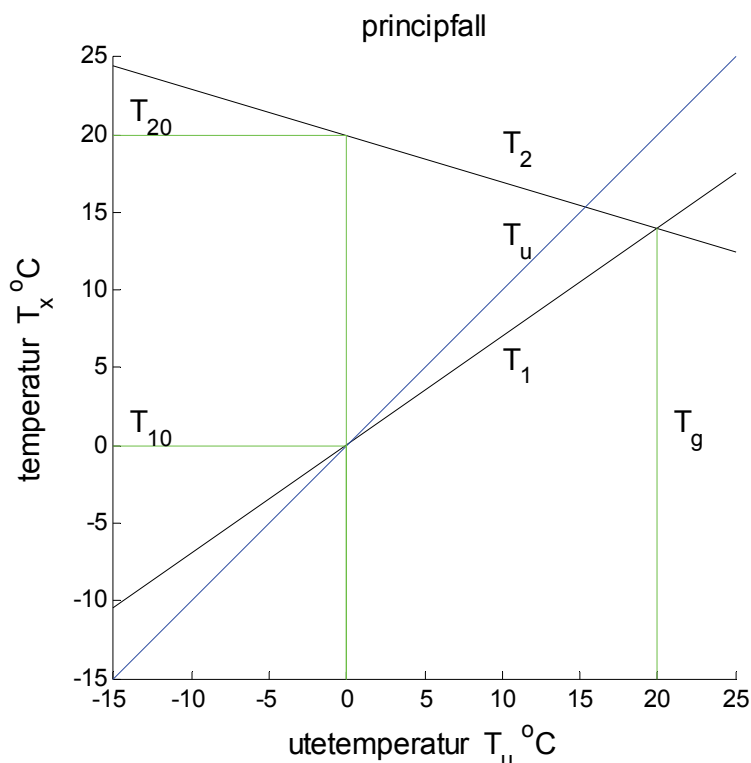
I detta avsnitt redovisas först hur gradtimmevärden kan beräknas mellan två godtyckliga utetemperaturberoende temperaturer och kontinuerlig drift och därefter hur gradtimmar beräknas för intermittent drift mellan samma klockslag under alla dygn. Ett tredje fall som behandlas är årsenergibehov när utetemperaturen är begränsad till ett intervall både uppåt och neråt.

Gradtimmar mellan godtyckliga temperaturer

Begreppet gradtimmar kan tillämpas för ett allmänt fall mellan två utetemperaturberoende temperaturer och inte enbart mellan en fast temperatur och utetemperaturen. Antag två temperaturfunktioner T_1 och T_2 som beror linjärt på utetemperaturen T_u som:

$$T_1 = T_{10} + g_1 T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.1)$$

$$T_2 = T_{20} + g_2 T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.2)$$



Figur 2.1 Principfall gradtimmeberäkning mellan godtyckliga temperaturer.

Antalet gradtimmar för temperaturskillnaden mellan T_2 och T_1 som skall beräknas ges av summan G_{21} som:

$$G_{21} = \sum^{\text{året}} (T_2 - T_1) dt \quad T_2 > T_1 \quad (\text{°Ch}) \quad (2.3)$$

Insättning av (2.1) och (2.2) i (2.3) ger efter förenkling:

$$G_{21} = g \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad T_g > T_u \quad (\text{°Ch}) \quad (2.4)$$

där

$$g = g_1 - g_2 \quad (-) \quad (2.5)$$

och

$$T_g = (T_{20} - T_{10}) / (g_1 - g_2) \quad (\text{°C}) \quad (2.6)$$

Kravet $T_2 > T_1$ motsvaras nu av $T_g > T_u$ och gränsfallet $T_2 = T_1$ bestämmer också gränstemperaturen T_g enligt (2.6). Gradtimmeberäkningen har nu överförs på den tidigare kända formen mellan en fast temperatur och utetemperaturen. Enda skillnaden är faktorn g och den beräknade gränstemperaturen T_g . Det tidigare beräkningsfallet motsvaras här av $T_2 = T_g$ och $T_1 = T_u$, vilket fås med $T_{20} = T_g$, $g_2 = 0$, $T_{10} = 0$ och $g_1 = 1$.

Gradtimmar för en del av ett dygn

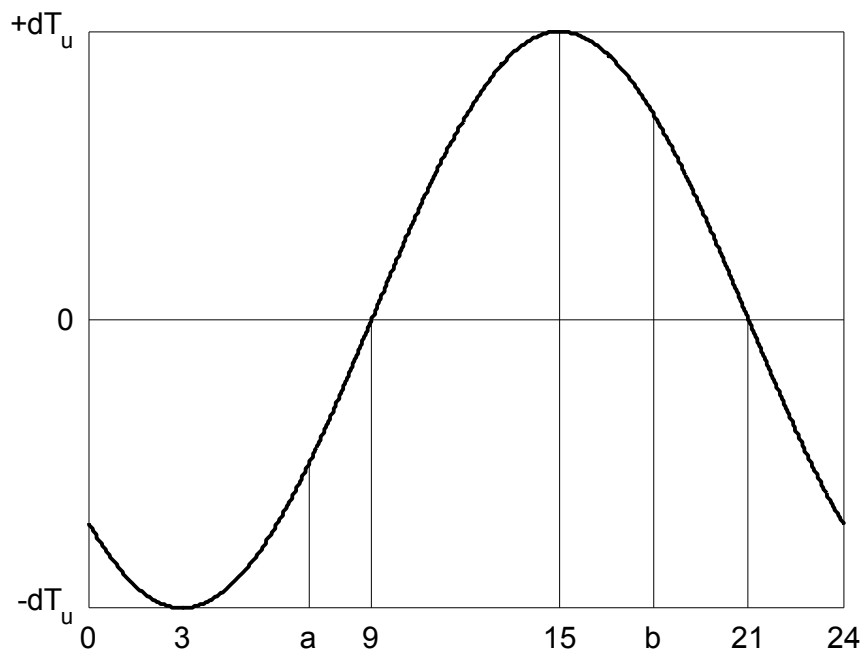
Det finns gradtimmetabeller för både hela dygnet och för tidsintervallet mellan kl 9 och kl 21. Dessa två klockslag passar dåligt med normal arbetstid, men förklaringen är att den valda delen av dygnet är den varma halvan. Högst och lägst utetemperatur brukar antas inträffa omkring kl 15 respektive kl 3.

Om utetemperaturen antas variera som en sinusfunktion i Figur 2.2 kan ett gradtimmevärde beräknas för en godtyckligt tidsintervall (a, b) under dygnet om utetemperaturens medelvärde och amplitud är kända.

Gradtimmetabellen för hela dygnet anger indirekt medelvärdet. Gradtimmetabellen för den varma dygnshalvan minus halva gradtimmetabellen för hela dygnet ger ett mått på amplituden. Antag att de två tillgängliga gradtimmetabellerna betecknas som G_{0024} och G_{0921} . Skillnaden i gradtimmar mellan medeldygnet och den varmare halva beräknas som följer:

$$G_+ = G_{0024}/2 - G_{0921} \quad (\text{°Ch}) \quad (2.7)$$

Värdet G_+ enligt (2.7) är positivt och finns framräknat i Tabellappendix som Tabell D. Om värdet G_+ divideras med halva varaktigheten eller drifttiden för den aktuella gränstemperaturen fås ett mått på hur mycket varmare det är under den varmare halvan i medeltal jämfört med dygnets medeltemperatur. Denna medelavvikelse kan räknas om till en amplitud för en sinusformad variation med faktorn $\pi/2$.



Figur 2.2 Sinusformad utetemperaturvariation över dygnet.

Inför den dimensionslösa dygnsdriftsandel $|b-a|/24$ och en funktion $f(a,b)$ och det sökta gradtimmevärdet kan skrivas som följer:

$$G_{ab} = (|b-a|/24) G_{0024} + f(a,b)G_+ \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (2.7)$$

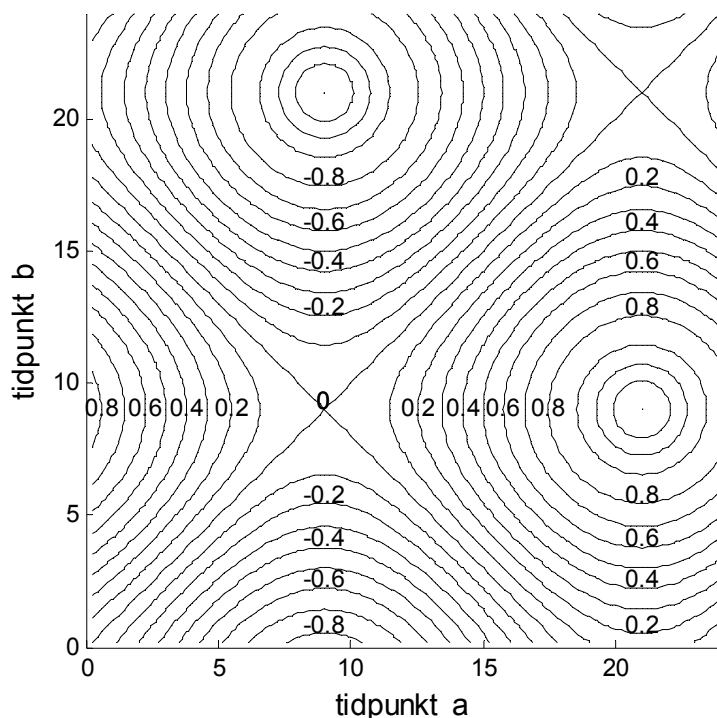
Notera att den första termen är den normala korrektionen från dygnsdrift till drift under en del av dygnet utan hänsyn till att någon del av dygnet kan vara eller kallare än någon annan del. Den andra termen i (2.7) är förbättringen.

Uttrycket (2.7) kan skrivas om genom att slopa det framräknade gradtimmevärdet G_+ enligt (2.6), vilket ger ett uttryck för G_{ab} där bara G_{0024} och G_{0921} ingår. Nackdelen med ett omskrivet uttryck (2.7) är den direkta uppdelningen i de två termerna för medelvärde och dygnsvariation förloras.

Funktionen $f(a,b)$ är begränsad till intervallet $(-1,1)$ och kan skrivas som följer med frekvensen $\omega=\pi/12$:

$$f(a,b) = (\cos(\omega(b-9))-\cos(\omega(a-9)))/2 \quad (-) \quad (2.8)$$

Två kontrollfall för funktionen $f(a,b)$ är den varma halvan med $a=9$ och $b=21$ och den kalla halvan med $a=21$ och $b=9$, vilket ger som förväntat funktionsvärdena -1 respektive 1. Funktionen $f(a,b)$ redovisas i Figur 2.3 som ett isodiagram med isolinjesteg om 0.1 och med startklockslag a som x-axel och stoppklockslag b som y-axel.



Figur 2.3 Isodiagram för funktionen $f(a,b)$ med x-axel a och y-axel b .

Gradtimmar för ett begränsat temperaturintervall

Gradtimmar beräknas normalt för en skillnad mellan en gränstemperatur lägre eller högre än utetemperaturen beroende på om det är värmebehov eller kylbehov som avses. Det finns dock fall där gradtimmar skall beräknas för ett gränstemperaturintervall med en övre och nedre gräns betecknat som (T_1, T_2) . Ett exempel redovisas i Figur 2.4 som ett funktionsdiagram för ett givet gränstemperaturintervall $(5, 20)$ °C och utetemperatur som funktion av utetemperaturen. Det finns tre områden som kan tolkas som gradtimmar betecknades som G_1 , G_2 och G_3 .

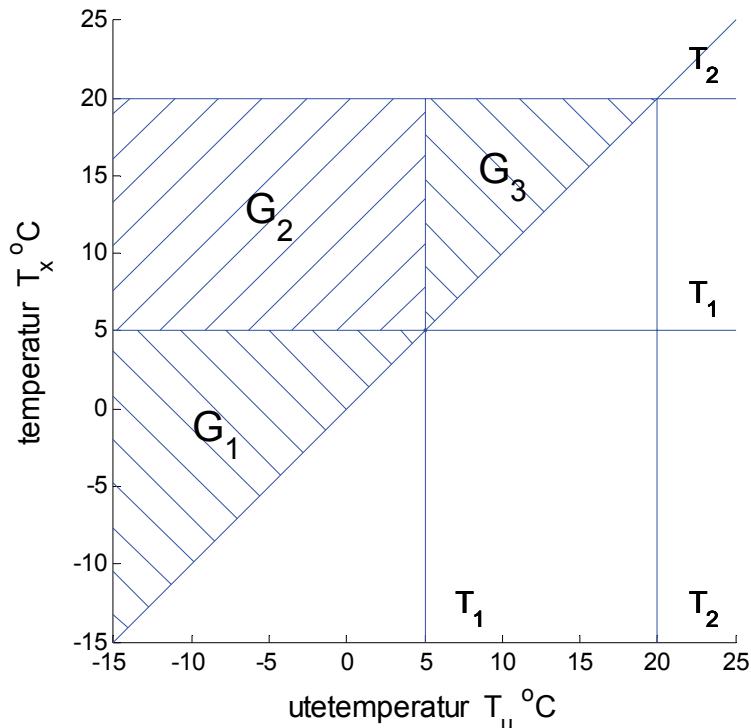
Det sökta gradtimmevärdet beskrivs med G_3 och det går inte att beräkna direkt. Detta gäller även den resterande summan G_1 och G_2 . Det som kan beräknas direkt är endast G_1 och summan av G_1 , G_2 och G_3 , vilken kan betecknas G_{123} . Gradtimmevärdet G_2 bestäms av temperaturskillnaden $T_2 - T_1$ multiplicerad med drifttiden när utetemperaturen är under den undre temperaturgränsen och därmed kan G_3 beräknas som $G_{123} - G_1 - G_2$ enligt nedan.

$$G_{123} = G_t(T_2) \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (2.9)$$

$$G_1 = G_t(T_1) \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (2.10)$$

$$G_2 = d_t(T_1)(T_2 - T_1) \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (2.11)$$

$$G_3 = G_t(T_2) - G_t(T_1) - d_t(T_1)(T_2 - T_1) \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (2.12)$$



Figur 2.4 Funktionsdiagram för gradtimmar för ett begränsat temperaturintervall

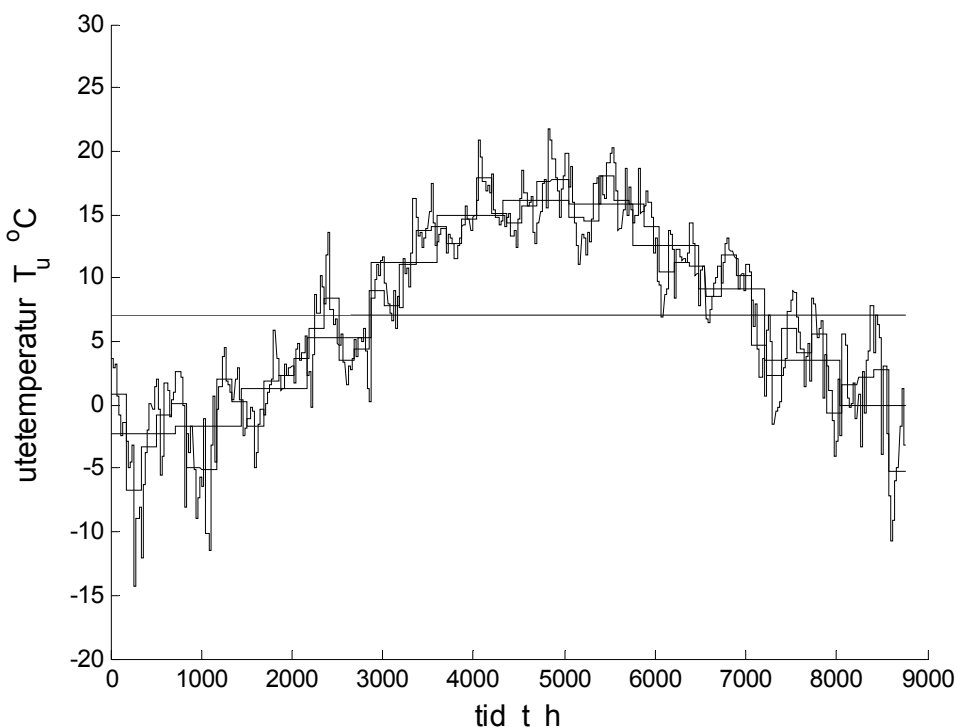
Beräkning av gradtimmar

En naturlig fråga är följande: Hur detaljerat måste gradtimmevärdet beräknas? Några mera konkreta formuleringar är följande: Kan dygnsmedelvärden, veckomedelvärden, månadsmedelvärden eller årsmedelvärden användas?

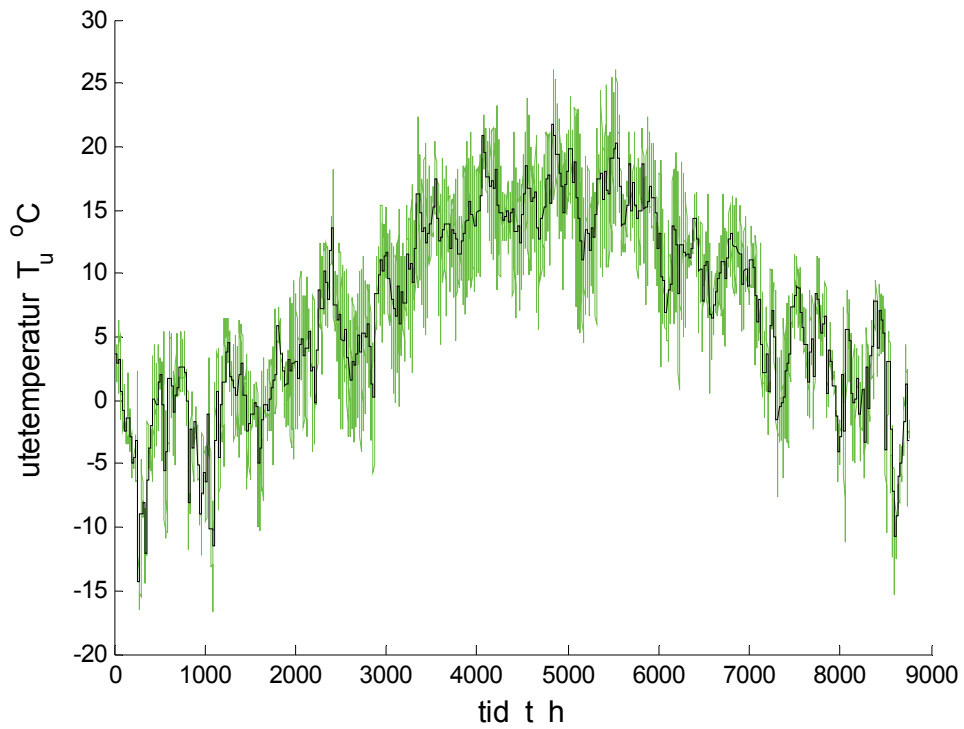
Ovanstående frågor skall undersökas med mätdata för utetemperaturen för ett år som redovisats tidigare i Figur 1.1 med timvärden och beräknade medelvärden för dygn, vecka, månad och år i Figur 2.5. De fyra medelvärdessalternativen redovisas var för sig i Figur 2.6-9 med de ursprungliga timmedelvärdena från Figur 1.1.

De beräknade gradtimmefunktioner som funktion av gränstemperaturen redovisas i Figur 2.10 för timvärden och de fyra medelvärdessalternativen. Skillnaden mellan timvärden och de fyra förenklingarna är inte särskilt stor för gränstemperaturer högre än 5 °C bortsett från fallet med årsmedeltemperatur, vilket ger helt felaktigt resultat och redan för gränstemperaturen 10 °C är felet betydande.

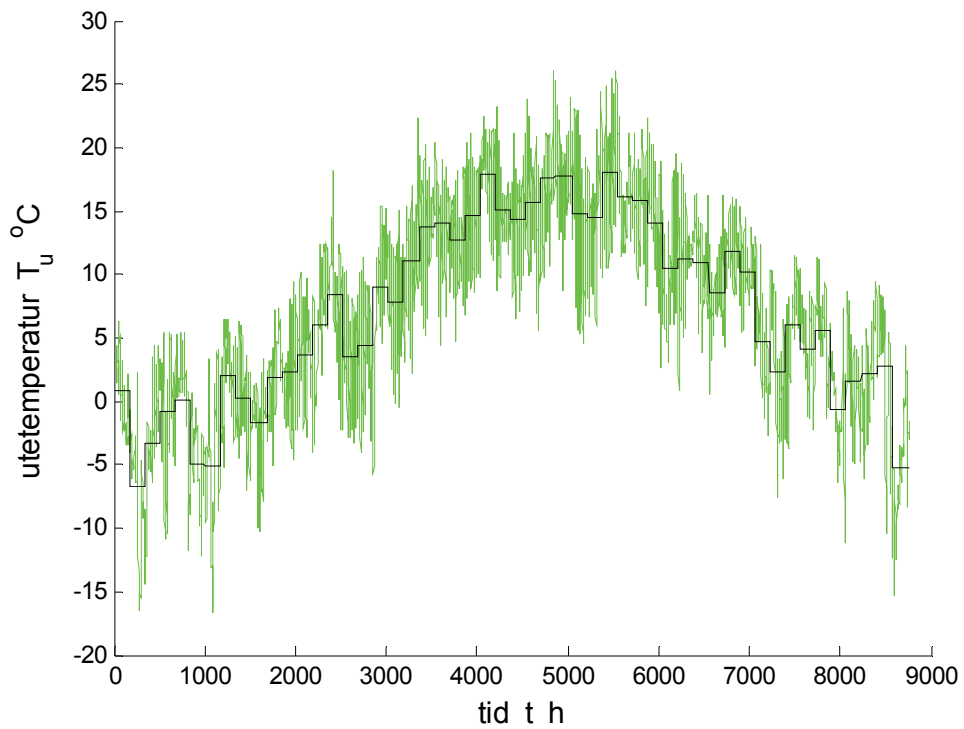
Det relativa felet har beräknats för de fyra medelvärdessfallen och det ökar med avtagande gränstemperatur, vilket visas i Figur 2.11. Det relativa felet är påtagligt redan vid 10 °C även för dygnsmedelvärden. Förklaringen är att dygnsvariationen för utetemperaturen orsakar detta fel. Kurvorna i Figur 2.11 visar också att det relativa felet är försumbart för gränstemperaturer över 20 °C, vilket beror på att utetemperaturen sällan är över denna gränstemperatur.



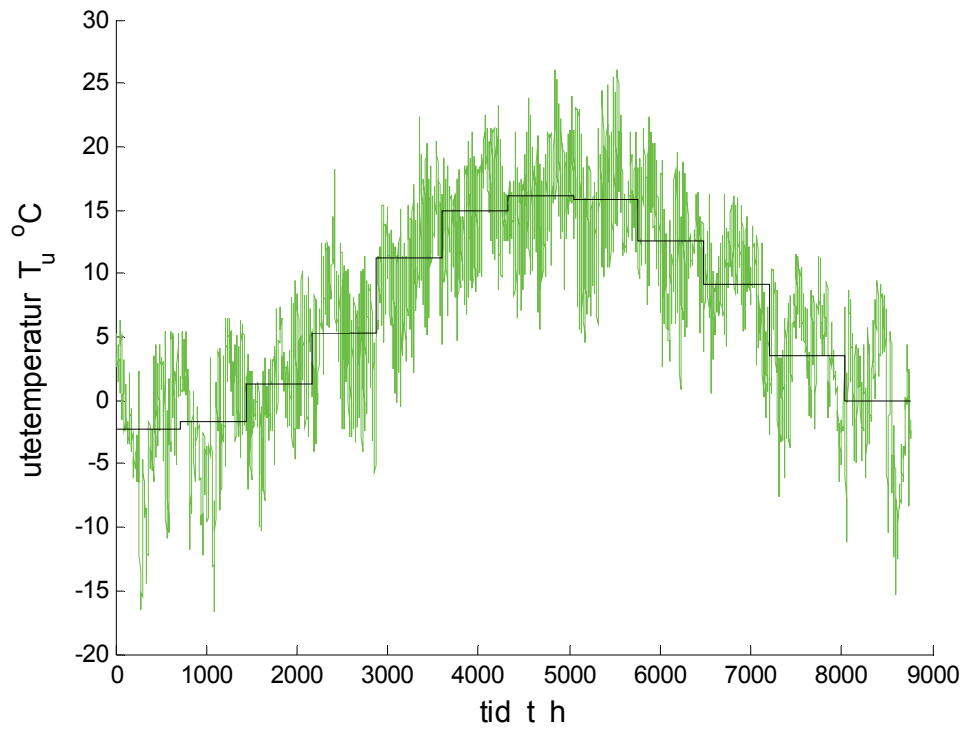
Figur 2.5 Utetemperatur som dygn, vecko, månads och årsmedelvärden.



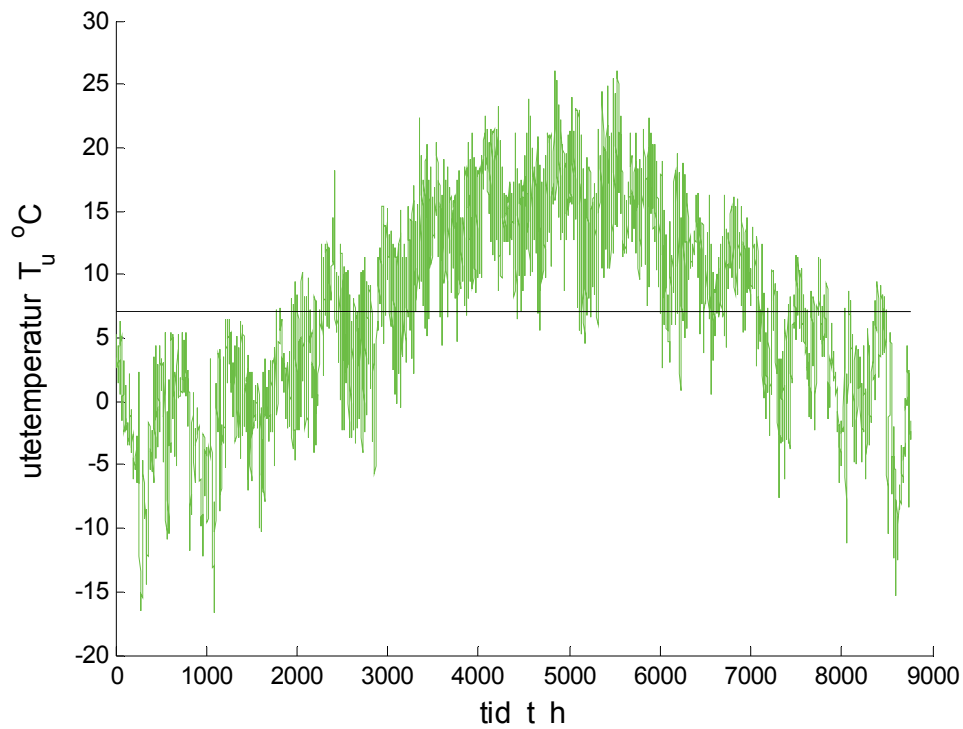
Figur 2.6 Jämförelse mellan timvärden och dygnsmedelvärden.



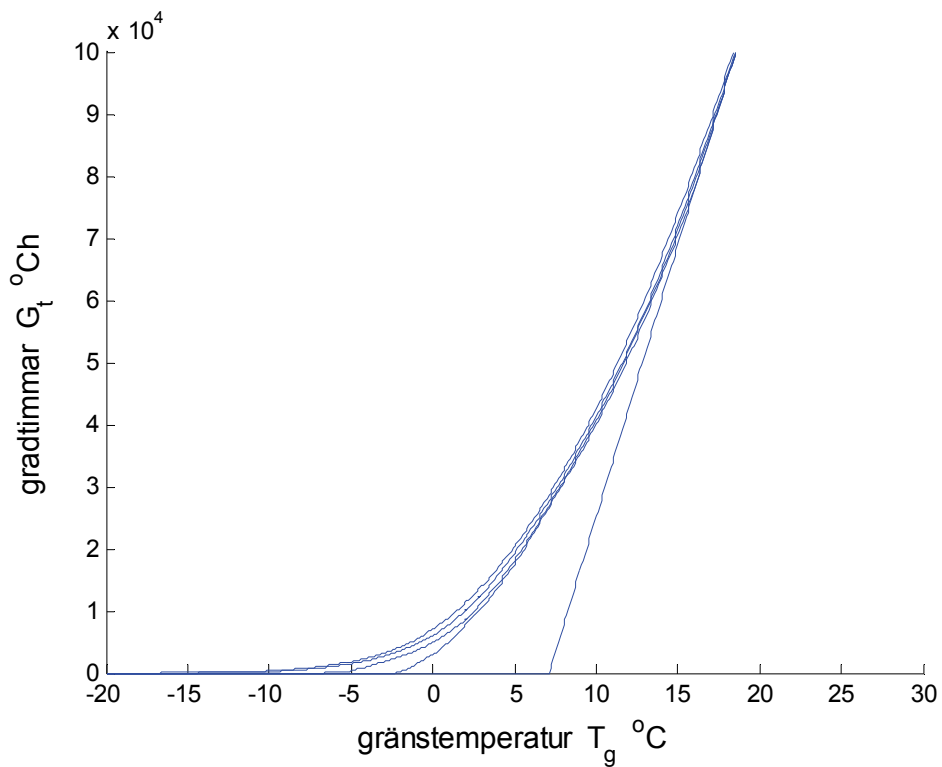
Figur 2.7 Jämförelse mellan timvärden och veckomedelvärden.



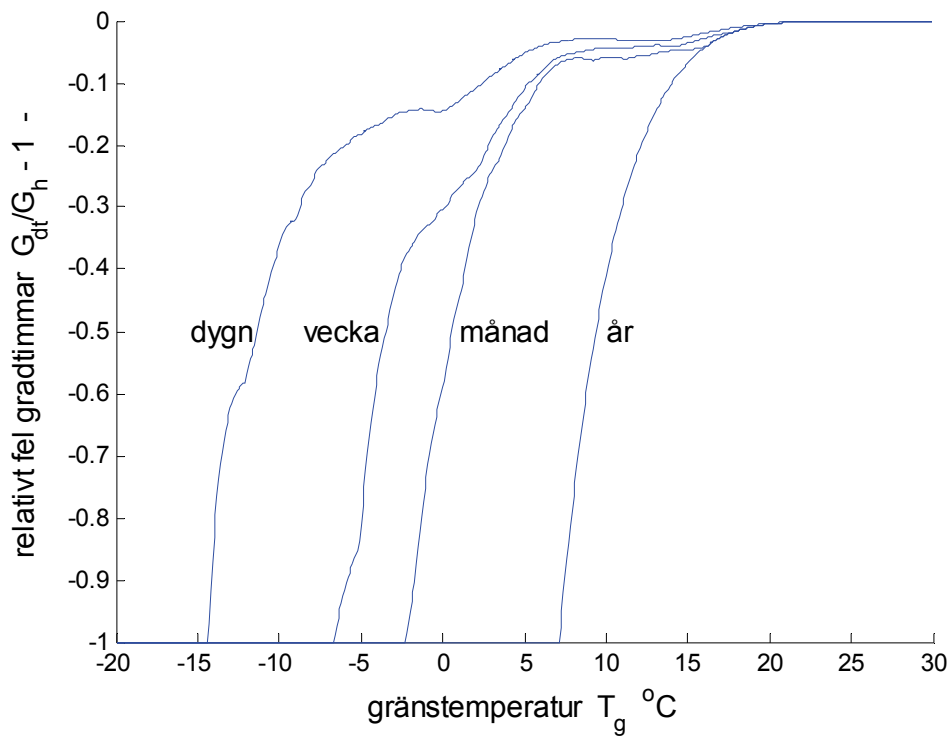
Figur 2.8 Jämförelse mellan timvärden och månadsmedelvärden.



Figur 2.9 Jämförelse mellan timvärden och årsmedelvärde.



Figur 2.10 Gradtimme-funktioner för olika tidsmedelvärden och timvärden.



Figur 2.11 Relativt fel för gradtimme-funktioner för olika tidsmedelvärden.

Tabeller för gradtimmar

Det finns ett flertal olika gradtimmetabeller i VVS-handboken och här ges en sammanställning.

tabell	ändamål	tid	variabel	tabellvärde
7:28,2	uppvärmning	00-24	°C	°Ch
7:30,1	ventilation årsvärme	00-24	°C	kJh/kg
7:30,2	ventilation årsvärme	00-24	kJ/kg	kJh/kg
7:31,1	ventilation årskyla	00-24	°C	kJh/kg
7:31,2	ventilation årskyla	00-24	kJ/kg	kJh/kg
7:34,1	ventilation årsvärme	09-21	°C	kJh/kg
7:34,2	ventilation årsvärme	09-21	kJ/kg	kJh/kg
7:35,1	ventilation årskyla	09-21	°C	kJh/kg
7:35,2	ventilation årskyla	09-21	kJ/kg	kJh/kg

Tabellvärdet kJh/kg kan ersättas med °Ch, eftersom luftens specifika värme är precis 1000 J/kg°C. En nackdel med svenska tabeller är att avrundning skett till hela hundratal och att gränstemperaturen endast omfattar intervallet 5 till 25°C. Norska tabeller är tabellerade med graddygn och gränstemperaturen omfattar från lägsta till högsta förekommande temperaturer.

Tabellerna nämnda ovan från VVS-handboken är alla tabellerade efter normalårstemperaturen T_{un} och ett gränsvärde för temperatur eller värmeinnehåll. Normalårstemperaturen T_{un} är lika med mediantemperaturen och inte lika med årsmedeltemperatur, men skillnaden är liten. Mediantemperaturen delar normalårets temperaturer i ett kallt och ett varmt halvår.

Gradtimmar är tabellerade för hela gränstemperaturer och hela normalårstemperaturer och för andra värden kan interpolation användas med god noggrannhet. Felet vid interpolation i normalårstemperaturen T_{un} och gränstemperaturen T_g är mindre än 100°Ch respektive 50°Ch.

Endast tabell 7:30,1 kommer att användas för både beräkning av värme och ventilation, eftersom ofta beräknas det gemensamma värmebehovet för värme och ventilation. Skillnaden mellan tabell 7:28,2 för värme och tabell 7:30,1 för ventilation är att över 11 °C räknas inte några °Ch för värmefallet helt i enlighet med det gamla begreppet graddagar. De två tabellerna är därför lika för gränstemperaturen 11 °C och lägre.

Tabellerna för beräkning av kylbehov inte tar hänsyn till kondensering, vilket kan öka kylbehovet betydligt.

3 Beräkning med årsmedeltemperatur

Årsmedeltemperaturen kan användas för enkla uppskattningar och överslag. Ett exempel är bedömning av energibesparing vid sänkning av innetemperaturen. En grads sänkning räknat på gränstemperaturen 20°C till 19°C motsvarar en relativ besparing i södra Sverige för en årsmedeltemperatur om 8°C om 1/12. Samma sänkning i norra Sverige med årsmedeltemperaturen 0°C ger en mindre relativ besparing om 1/20.

Uppskattningen av antalet gradtimmar för värmebehov kan genom att bortse från att $T_g > T_u$ skrivas om genom uppdelning av (3.1) till (3.2) och efter införande av årsmedelvärde T_{um} förenkling till (3.3) enligt nedan:

$$G_m(T_g) = \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad (\text{°Ch}) \quad (3.1)$$

$$G_m(T_g) = \sum^{\text{året}} T_g dt - \sum^{\text{året}} T_u dt \quad (\text{°Ch}) \quad (3.2)$$

$$G_m(T_g) = 8760 (T_g - T_{um}) \quad (\text{°Ch}) \quad (3.3)$$

Observera att ett litet fel i antagen årsmedeltemperatur T_{um} medför stora fel för antalet gradtimmar enligt (3.3). Ett fel om 0.1°C motsvarar ett fel om 876 °Ch.

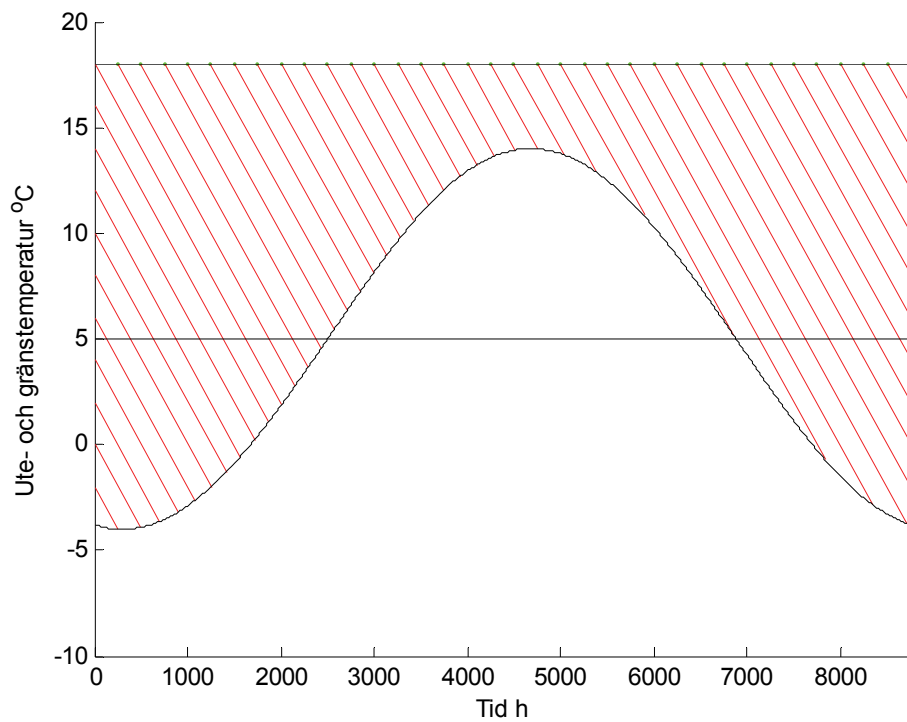
Det formella felet för gradtimmevärdet enligt (3.3) är kylbehovet som har räknats av mot värmebehovet eller omvänt. Felet uppstår när det finns både ett kylbehov och ett värmebehov. Detta kan förtydligas med fyra exempel i Figur 3.1-4 för en årsmedeltemperatur på 5 °C och en amplitud på 9 °C och gränstemperaturerna 18, 11, 5 och -8 °C. Fallen med gränstemperaturen 18 och -8 °C i Figur 3.1 respektive 3.4 beräknas helt korrekt. Fallet i Figur 3.2 med gränstemperaturen 11 °C har ett mindre kylbehov, vilket medför att beräknat värmebehov blir för lågt. Fallet i Figur 3.3 med gränstemperaturen 5 °C lika med den antagna årsmedeltemperaturen har inget värmebehov beräknat med gradtimmar enligt (3.3).

Beräkningen enligt (3.1) utan några temperaturkrav kan skrivas om genom att dela upp högerledet i en positiv del med gradtimmevärdet G_{t+} enligt (3.5) och en negativ del med gradtimmevärdet G_{t-} enligt (3.6), vilket ger uttrycket:

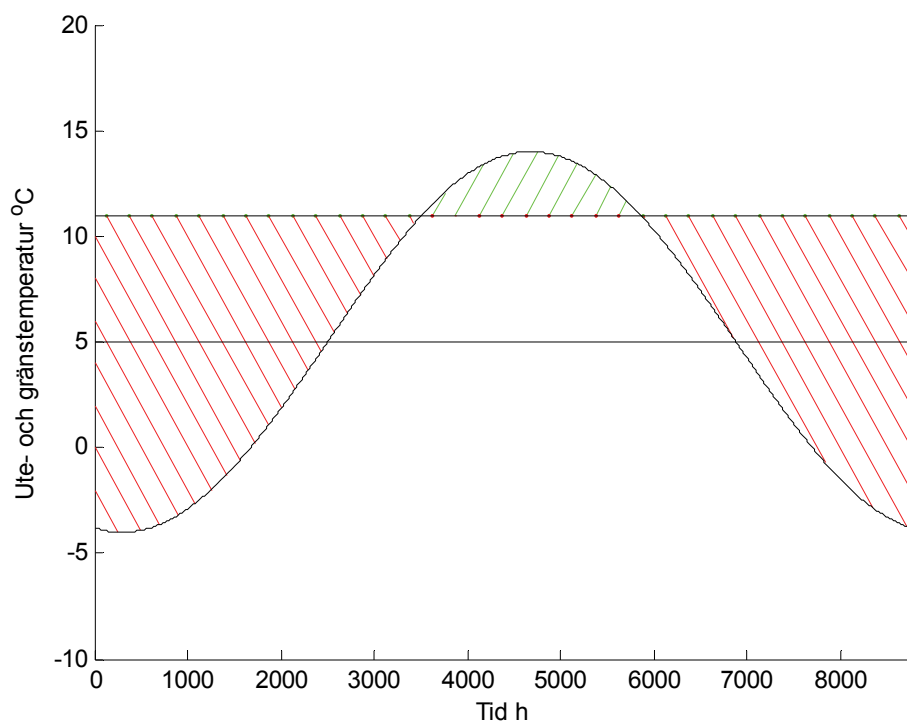
$$G_m(T_g) = G_{t+}(T_g) + G_{t-}(T_g) \quad (\text{°Ch}) \quad (3.4)$$

$$G_{t+}(T_g) = \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad T_g > T_u \quad (\text{°Ch}) \quad (3.5)$$

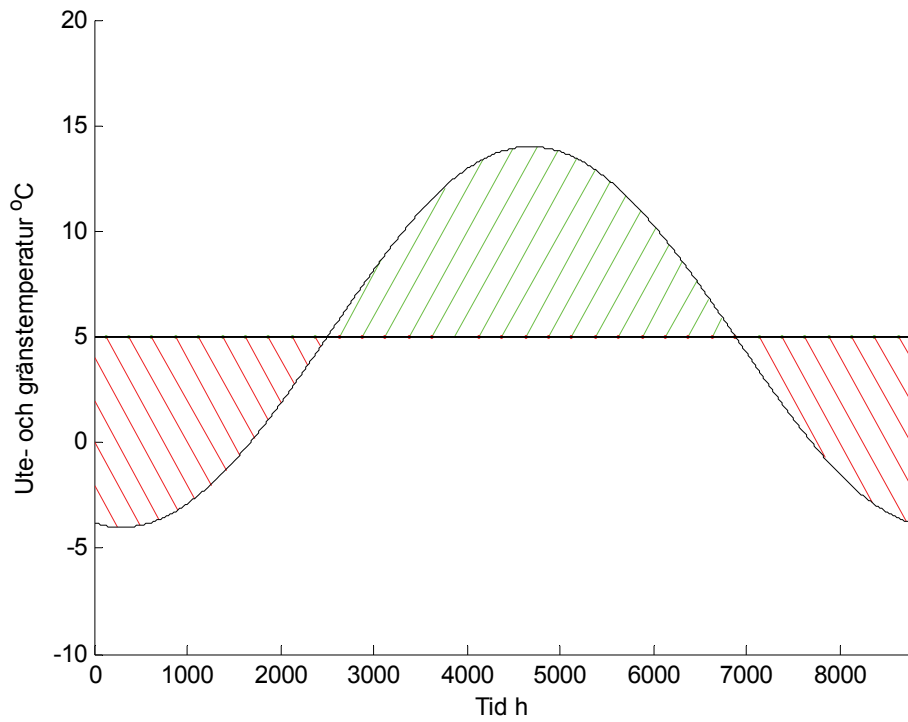
$$G_{t-}(T_g) = \sum^{\text{året}} (T_g - T_u) dt \quad T_g < T_u \quad (\text{°Ch}) \quad (3.6)$$



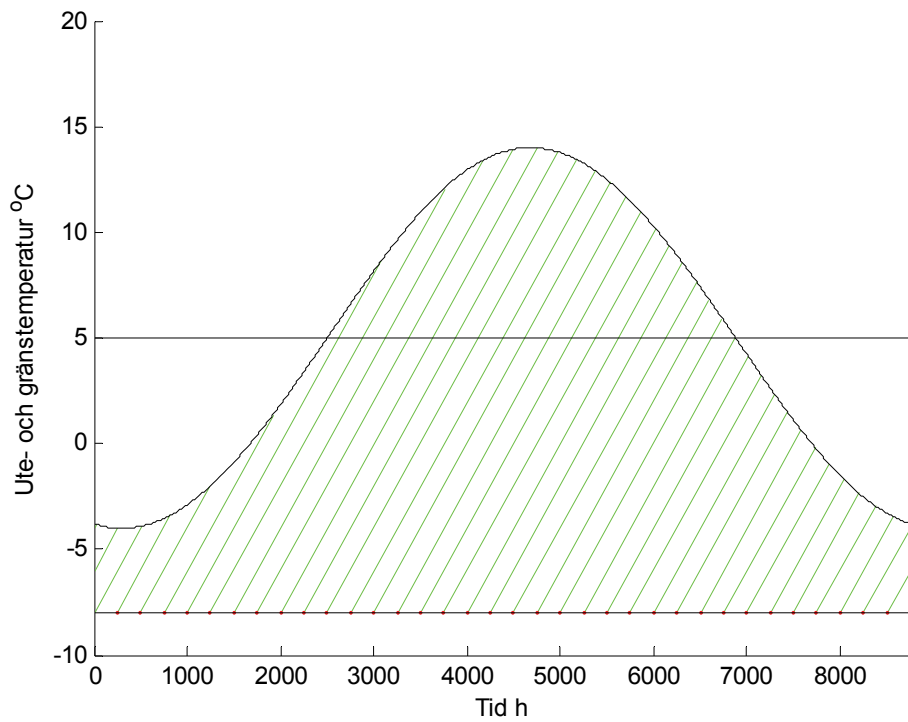
Figur 3.1 Exempel på fall med enbart värmebehov.



Figur 3.2 exempel på fall med ett värmebehov och ett mindre kylbehov.



Figur 3.3 Exempel på fall med lika stort värmebehov som kylbehov.



Figur 3.4 Exempel på fall med enbart kylbehov.

4 Tillämpning på uppvärmning

Värmesystemet i en byggnad ska täcka transmissionsförluster, ventilationsförluster och förluster till följd av att huset är lufttätt. Värmning av ventilationsluften kan ske på två olika sätt.

I en byggnad ventilerad med självdrag, fläktförstärkt självdrag eller frånluft tillförs uppvärmd uteluft genom uteluftsdon eller otätheter. Värmarna i aktuella rum dimensioneras då för att värma ventilationsluften till önskad innetemperatur.

I en byggnad ventilerad med FTX-system tillförs rummen ventilationsluft som i luftbehandlingsaggregatet är värmd till önskad tilluftstemperatur. Även i detta fall värms all ventilationsluft till önskad innetemperatur.

Båda dessa grundfall kan beräkningsmässigt behandlas som ett enda gemensamt fall för uppvärmning och ventilation, eftersom all ventilationsluft ska indirekt värmas till önskad innetemperatur eller rumstemperatur. Frånluften antas ha samma temperatur som rumsluften, vilket har betydelse för ventilationsvärmeåtervinningen.

Tillufttemperaturen beräknas inte och den kan vara högre än den önskade innetemperaturen för ett fall med luftvärmesystem där uppvärmning sker med ventilationsluft. Notera att för luftvärmesystem sker beräkningen med det konstanta uteluftsflödet och inte med det större cirkulationsflödet, som kan variera.

Transmissionseffektbehov

Byggnadens specifika värmebehov eller förlustfaktor för transmission Q_t beräknas som summering av alla ytors, köldbryggors och infiltrationsluftflödens specifika värmeförluster som:

$$Q_t = \sum^j A_j U_j + \sum^j a_j u_j + \sum^j \rho c q_j \quad (\text{W/K}) \quad (4.1)$$

där

U_j	W/Km ²	U -värde för yta nr j
A_j	m ²	area för yta nr j
u_j	W/Km	specifik värmeförlust för köldbrygga nr j
a_j	m	längd för köldbrygga nr j
ρc	W/m ³ K	luftens värmekapacitet
q_j	m ³ /s	infiltrationsluftflöde nr j

Ventilationseffektbehov

Byggnadens specifika värmebehov eller förlustfaktor för ventilationen Q_v beräknas enligt (4.2) nedan för samtliga tilluftsflöden som antas vara konstanta över hela året. Alla tilluftsvolymflöden definieras för temperaturen $20\text{ }^\circ\text{C}$ och med konstant densitet. Detta innebär att alla tilluftsmassflöden antas vara konstanta.

$$Q_v = \sum^j \rho c q_j (1-v_j) \quad (\text{W/K}) \quad (4.2)$$

där

ρc	W/m ³ K	luftens värmekapacitet
q_j	m ³ /s	tilluftsflöde nr j
v_j	-	temperaturverkningsgrad för luftflöde nr j

Faktorn $(1-v_j)$ anger hur stor del av ventilationsvärmern för flöde j som inte återvinns och som därför måste tillföras.

Värmebehov för infiltration och tilluft beräknas här till byggnaden inströmmande luft, men samma värmebehov kan även beräknas med exfiltration och frånluft från byggnaden utströmmande luft.

Gratisvärme

Benämningen gratisvärme är något missvisande eftersom hushållselen ingår. En bättre beteckning är oregerat värmestillskott, men begreppet gratisvärme är inarbetat och används här. Gratisvärmeeffekten P_g är oftast inte känd utan istället finns det uppskattningar av gratisvärmeenergin E_g för ett år som, om den fördelas jämnt

$$P_g = E_g / 8760 \quad (\text{W}) \quad (4.3)$$

Några grova överslagsvärden på olika gratisvärmestillskott per år för en lägenhet eller ett småhus är för personvärme 500 – 3000 kWh, hushållsel 1500 – 3000 kWh och solinstrålning 1000 – 3000 kWh. Det totala gratisvärmestillskottet kan variera från 3000 kWh till 9000 kWh för en lägenhet eller ett småhus, vilket grovt motsvarar en medeleffekt från 300 till 1000 W.

Totalt effektbehov

Byggnadens totala specifika värmebehov eller förlustfaktor Q blir följande:

$$Q = Q_t + Q_v \quad (\text{W/K}) \quad (4.4)$$

Den bruttovärmeeffekten P_b och nettovärmeeffekten P_n fås som:

$$P_b = Q (T_i - T_u) \quad P_b > 0 \quad (\text{W}) \quad (4.5)$$

$$P_n = Q (T_i - T_u) - P_g \quad P_n > 0 \quad (\text{W}) \quad (4.6)$$

där

T_i	$^{\circ}\text{C}$	önskad innetemperatur
T_u	$^{\circ}\text{C}$	utetemperatur
P_g	W	gratisvärmeeffekt

Gratisvärmeeffekten P_g i (2.6) kan ersättas genom att införa gränstemperaturen T_g under vilken aktiv värmeförsel krävs ($P_n > 0$). Gratisvärmeförsel täcker nu värmebehovet när utetemperaturen T_u är lika med till gränstemperaturen T_g räknat från innetemperaturen T_i , vilket ger

$$T_g = T_i - P_g / Q \quad T_g > T_u \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (4.7)$$

Gränstemperaturen T_g kan variera betydligt under innetemperaturen T_i eftersom gränseffekten P_g för ett småhus eller en lägenhet kan vara 300–1000 W och förlustfaktorn Q kan vara 50–300 W/K. Skillnaden $T_i - T_g$ eller kvoten P_g / Q kan med ovanstående siffror variera från 1 till 20 $^{\circ}\text{C}$. Nettovärmeeffekten enligt (4.6) kan skrivas med hjälp av (4.7) till följande:

$$P_n = Q (T_g - T_u) \quad (\text{W}) \quad (4.8)$$

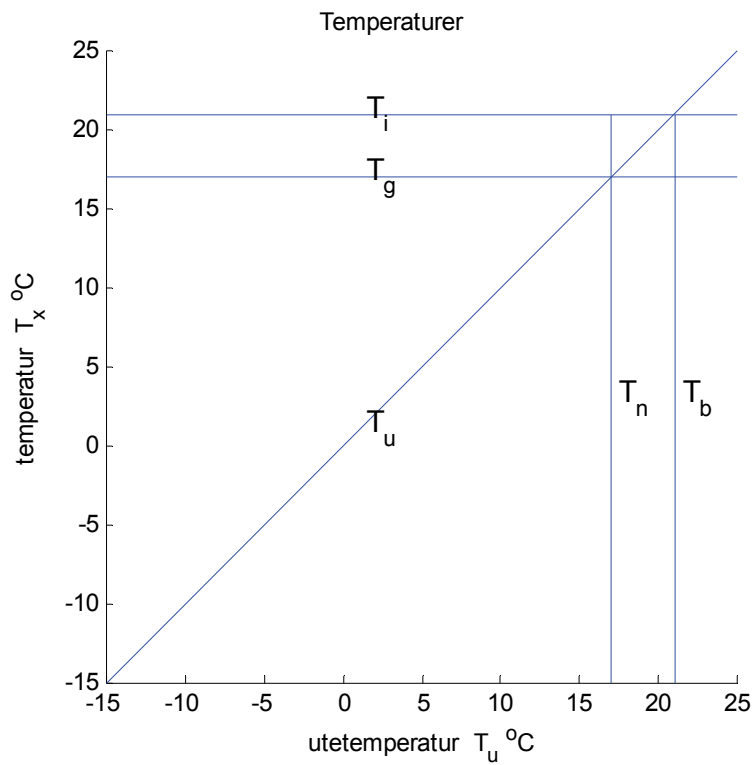
Årsenergibehov

Årsvärmebehovet beräknas och definieras enligt (1.2) och med utnyttjande av (4.8) och gradtimmebegreppet enligt (1.5) kan nettoårsvärmebehovet E_n skrivas som:

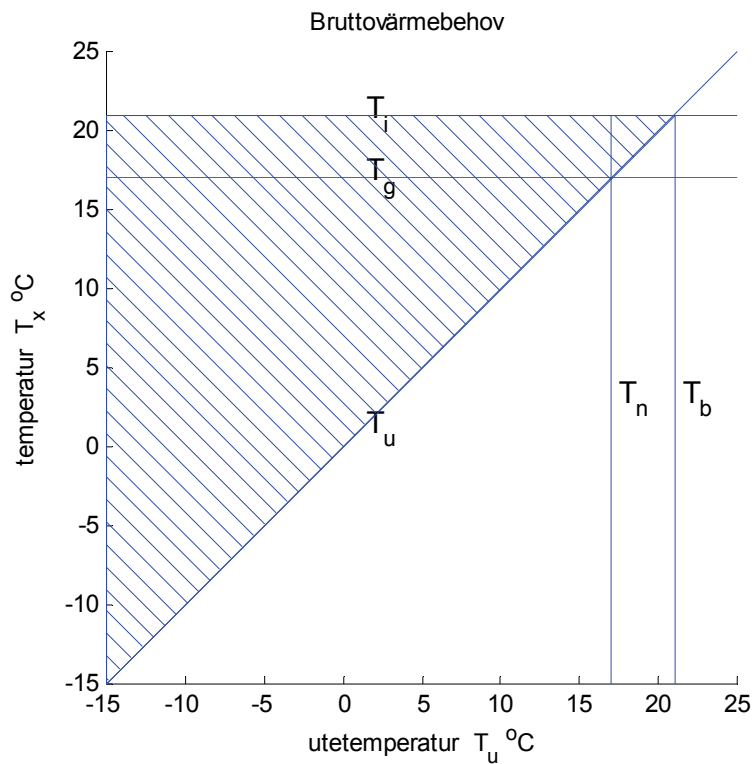
$$E_n = Q G_t(T_g) \quad (\text{Wh}) \quad (4.9)$$

Bruttoårsvärmebehovet E_b beräknas med (4.9) och gränstemperaturen T_i .

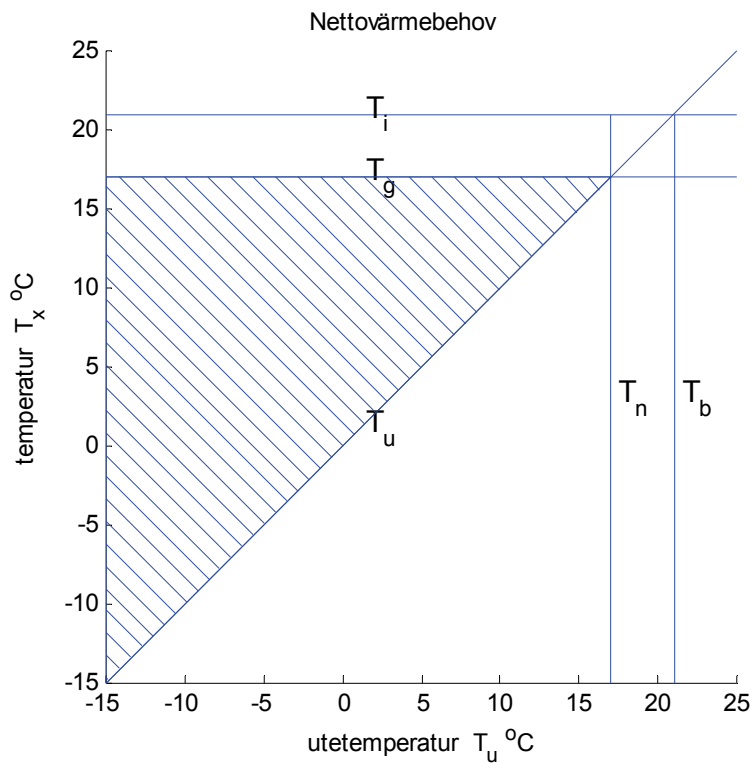
Ett funktionsdiagram för innetemperatur, gränstemperatur och utetemperatur som funktion av utetemperaturen visar principen i Figur 4.1. Bruttovärmebehov, nettovärmebehov och utnyttjad gratisvärme redovisas i Figur 4.2-4 i samma funktionsdiagram som i Figur 4.1.



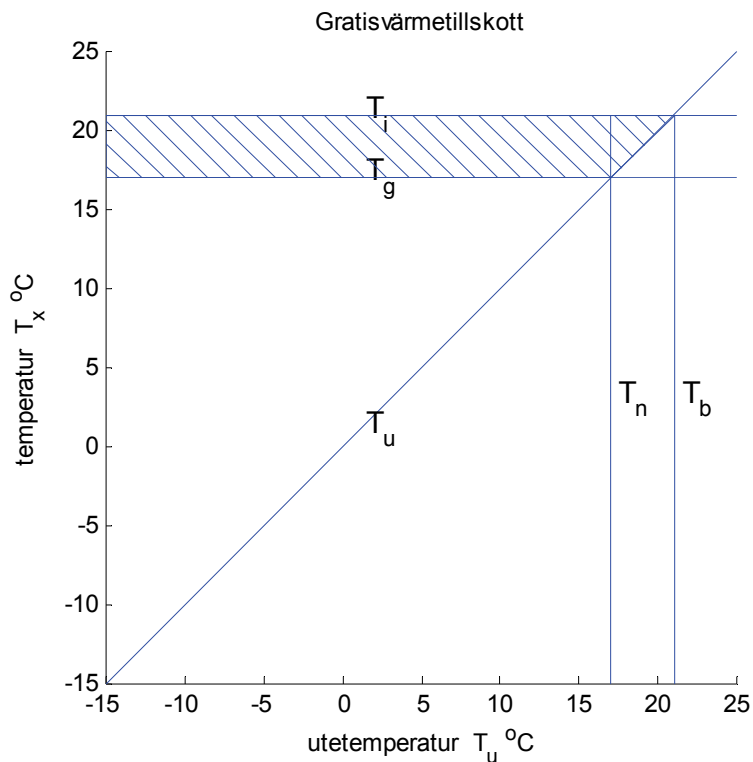
Figur 4.1 Funktionsdiagramm uppvärmning och ventilation.



Figur 4.2 Funktionsdiagramm uppvärmning och ventilation och bruttovärmebehov.



Figur 4.3 Funktionsdiagramm uppvärmning och ventilation och nettovärmebehov.



Figur 4.4 Funktionsdiagramm uppvärmning och ventilation och utnyttjad gratisvärme.

Utetemperaturberoende innetemperatur och gratisvärmeeffekt

Om innetemperatur och/eller gratisvärmestillskott är linjärt beroende av utetemperaturen kan beräkning inte genomföras enligt (4.9). Gränstemperaturen T_g blir troligen också en linjär funktion av utetemperaturen. En mindre förändring av beräkningsgången krävs. Definiera utetemperaturberoende innetemperatur T_i och gratisvärmeeffekt P_g enligt:

$$T_i = T_{i0} + g_i T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.10)$$

$$P_g = P_{g0} + g_g T_u \quad (\text{W}) \quad (4.11)$$

Insättning av (4.10) i (4.5) ger efter förenkling bruttoårsenergibehovet E_b och hjälpparameterarna g_b och T_{gb} på samma sätt som redovisas i avsnitt 2 på sidan 11 och 12 som:

$$E_b = Q g_b G_i(T_{gb}) \quad (\text{Wh}) \quad (4.12)$$

$$g_b = 1 - g_i \quad (-) \quad (4.14)$$

$$T_{gb} = T_{i0} / g_b \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.15)$$

Detta beräkningsfall med index b får inte förväxlas med ett beräkningsfall för ventilation med samma index b för tilluftens årsenergibehov, vilket behandlas i avsnitt 5.

Insättning av (4.10) och (4.11) i (4.6) ger efter förenkling nettoårsenergibehovet E_n och hjälpparameterarna g_n och T_{gn} på samma sätt som redovisas i avsnitt 2 på sidan 11 och 12 som:

$$E_n = Q g_n G_i(T_{gn}) \quad (\text{Wh}) \quad (4.16)$$

$$g_n = 1 - g_i + g_g / Q \quad (-) \quad (4.17)$$

$$T_{gn} = (T_{i0} - P_{g0} / Q) / g_n \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.18)$$

5 Tillämpning på ventilationsvärme

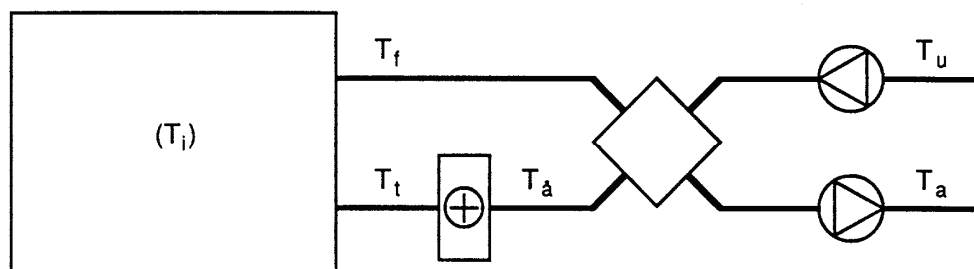
En viktig förutsättning för den hittills redovisade metoden bygger på att tillufts-, frånlufts- och lokalluftstemperatur är lika. Detta är oftast inte fallet för ventilationssystem. Årsvärmebehovet för ventilation måste därför beräknas för sig och kan inte slås samman med årsvärmebehovet för transmission. Tilluftstemperaturen är i regel betydligt lägre än frånluftstemperaturen. Lokaltemperaturen är i regel obetydligt lägre än frånluftstemperaturen. Till- och frånluftstemperaturerna kan också variera med utetemperaturen. Värmeåtervinning med olika typer av värmeväxlare ingår ofta. Värmebehovet för tilluften kan delas upp i utnyttjad återvunnen värme och tillsatsvärme.

Återluft kan också behandlas som återvinning. Återluftsandelen i ett återluftssystem motsvarar verkningsgraden för ett återvinningssystem. Återluftsandelen styrs så att tilluftstemperaturen så långt som möjligt blir lika med den önskade, vilket motsvarar att verkningsgraden anpassas efter behovet. Tilluftsflödet är konstant, medan uteluftsflödet varierar.

Följande temperaturbeteckningar används

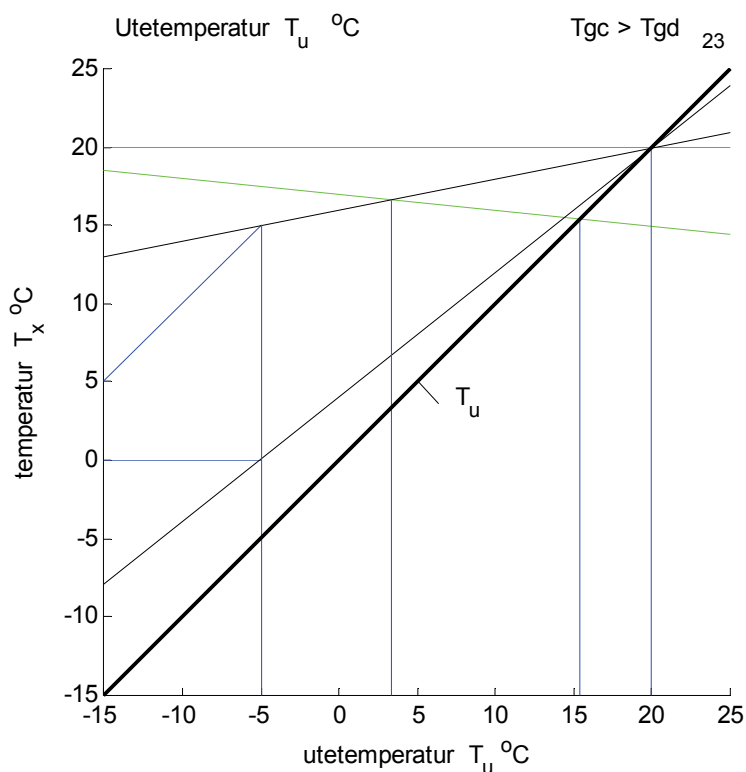
T_u	uteluft
T_t	tilluft
T_f	frånluft
T_a	avluft, frånluft efter värmeåtervinning
$T_{\hat{a}}$	uteluft efter värmeåtervinning
T_{ab}	begränsad T_a på grund av påfrysning
$T_{\hat{a}b}$	begränsad $T_{\hat{a}}$ på grund av påfrysning

Definitionen av de fem första temperaturerna ovan redovisas också i Figur.5.1.



Figur 5.1 Byggnad och ventilationssystem med återvinning

Hur de olika temperaturerna varierar som funktion av utetemperaturen T_u redovisas i Figur.5.2 för ett fall med linjärt utetemperaturberoende frånlufts- och tillufts-temperatur med $T_f = 20\text{ °C}$, $T_t = 15 - 0.2 T_u\text{ °C}$, $T_{ab} = 0\text{ °C}$ och $v = 0.8$.



Figur 5.2 Funktionsdiagram för T_f , T_t , $T_{\dot{a}}$, $T_{\dot{a}b}$, T_{ab} , T_a , och T_u som funktion av T_u (kurvorna uppifrån räknat vid $T_u = -20\text{ °C}$)

Tre viktiga förutsättningar gäller för beräkningarna och de är konstanta ventilationsflöden, konstanta temperaturverkningsgrader och torr återvinning utan kondensering.

De fall som är av intresse är årsvärmebehov av följande positiva temperaturskillnader, där fall d avser extra tillsatsvärme när värmeåtervinningen är begränsad på grund av risk för påfrysning. Notera att delfallen c och d för tillsatsvärme kan under en förutsättning ersättas med en enda beräkning som beskrivs som fall e .

Tabell 5.1 Definition och beteckningar för olika beräkningsfall

fall	skillnad	årsvärmebehov för
a	$T_f - T_u$	E_a frånluft
b	$T_t - T_u$	E_b tilluft
c	$T_t - T_{\dot{a}}$	E_c normal tillsats när $T_{gc} > T_{gd}$
d	$T_{\dot{a}} - T_{\dot{a}b}$	E_d extra tillsats när $T_{gc} > T_{gd}$
e	$T_t - T_{\dot{a}b}$	E_e total tillsats när $T_{gc} < T_{gd}$
\dot{a}	$\min(T_b, T_{\dot{a}}, T_{\dot{a}b}) - T_u$	$E_{\dot{a}}$ återvunnen = $E_b - E_c - E_d = E_b - E_e$

Det går att visa att om T_f och T_t är linjära funktioner i T_u då blir även T_a och $T_{\hat{a}}$ linjära funktioner i T_u . Detta innebär att temperaturskillnaderna för fall a till e också är linjära funktioner i T_u . Energibehovet för dessa temperaturskillnader kan beräknas enligt samma princip tidigare redovisad i avsnitt 2 på sidorna 11 och 12.

$$E_x = \rho c q d g_x G_t(T_{gx}) \quad (\text{Wh}) \quad (5.1)$$

där

$\rho c q$	luftflödets specifika värmebehov (W/°C)
d	relativ årsdrifttid (-)
$G_t(T_{gx})$	gradtimmar för fall x (°Ch)
T_{gx}	gränstemperatur för fall x (°C)
g_x	korrektionsfaktor för fall x (-)
x	ett av fallen a, b, c, d, e, g eller h

Observera att temperaturverkningsgraden v_t för tilluften ingår i gradtimmevärdet $g_x G_t(T_{gx})$ för de fall där det har inverkan. Parametern Q_v enligt (4.2) skall alltså inte användas här. De olika fallens korrektionsfaktorer och gränstemperaturer beräknas med följande förutsättningar och finns redovisade i en sammanställning nedan.

Frånluftstemperaturen ges av:

$$T_f = T_{f0} + g_f T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.2)$$

Tilluftstemperaturen ges av:

$$T_t = T_{t0} + g_t T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.3)$$

Tilluftstemperaturen efter återvinningen $T_{\hat{a}}$ fås från definitionen av temperaturverkningsgraden för tilluftsidan v_t enligt:

$$v_t = (T_{\hat{a}} - T_u) / (T_f - T_u) \quad (-) \quad (5.4)$$

och efter omskrivning och införandet av T_f enligt (5.2) som en linjär funktion av utetemperaturen T_u fås:

$$T_{\hat{a}} = v_t T_{f0} + (1 - v_t + v_t g_f) T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.5)$$

Avluftstemperaturen efter återvinningen T_a fås från definitionen av temperaturverkningsgraden för frånluftsidan v_f enligt

$$v_f = (T_f - T_a) / (T_f - T_u) \quad (-) \quad (5.6)$$

och efter omskrivning och införandet av T_f enligt (5.2) som en linjär funktion av utetemperaturen T_u fås

$$T_a = (1 - v_f) T_{f0} + (g_f + v_f - v_f g_f) T_u \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.7)$$

Det finns ett grundläggande samband mellan de två temperaturverkningsgraderna v_t och v_f och motsvarande luftflöden q_t och q_f (definierade vid 20 °C), vilket kan skrivas som följer:

$$v_t q_t = v_f q_f \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5.8)$$

Sambandet (5.8) kan härledas från att den överförda effekten är den samma räknat på det ena flödet eller det andra flödet som passerar genom värmeväxlaren. Om flödena är lika stora blir också de två temperaturverkningsgraderna lika stora. Sambandet innebär också att det större flödet har den mindre temperaturverkningsgraden och tvärtom.

Värmeåtervinning kan inte ske med höga verkningsgrader vid låga utetemperaturer. Kondens på frånluftssidan fryser igen värmeväxlaren. Påfrysning och därmed avfrostning kan undvikas genom att reglera ner verkningsgraden så att påfrysning inte sker. Avfrostning kan också ske genom uppvärmning med tillsatsvärme eller genom att luftflödet stoppas på tilluftssidan eller en del därav varvid frånluften tinar värmeväxlaren eller motsvarande del därav. Detta medför totalt sett att en del värme inte kan återvinnas.

En enkel begränsning för att förhindra påfrysning är att frånluftstemperaturen efter värmeåtervinningen alltid skall vara större än en begränsningstemperatur T_{ab} till exempel 0°C som kan räknas om till en motsvarande begränsningstemperatur för tilluften $T_{\hat{a}b}$.

Den värmeväxlade effekten P vid avkylningen av frånluften kan skrivas som:

$$P = \rho c q_f (T_f - T_{ab}) \quad (\text{W}) \quad (5.9)$$

Den värmeväxlade effekten P vid uppvärmning av uteluften kan skrivas som:

$$P = \rho c q_t (T_{\hat{a}b} - T_u) \quad (\text{W}) \quad (5.10)$$

Eliminering av effekten P och införandet av en hjälpparameter k för flödeskvoten frånluft/tilluft ger sambandet för $T_{\hat{a}b}$ som:

$$T_{\hat{a}b} = T_u + k (T_f - T_{ab}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.11)$$

$$k = q_f/q_t \quad (-) \quad (5.12)$$

Tillsatsvärmebehovet beräknas som summan av fall *c* och *d* om motsvarande gränstemperaturer uppfyller att $T_{gc} > T_{gd}$. Om detta krav inte uppfylls beräknas hela tillsatsvärmebehovet direkt enligt fall *e*. Tillsatsvärmebehovet på grund av den begränsade värmeåtervinningen för fall *d* beräknas därefter som skillnaden mellan fall *e* och fall *c*.

Tabell 5.2 Korrektionsfaktor g_x och gränstemperatur T_{gx}

fall x	skillnad	korrektionsfaktor g_x	gränstemperatur T_{gx}
<i>a</i>	$T_f - T_u$	$1 - g_f$	T_{f0} / g_a
<i>b</i>	$T_t - T_u$	$1 - g_t$	T_{t0} / g_b
<i>c</i>	$T_t - T_{\dot{a}}$	$1 - v_t - g_t + v_t g_f$	$(T_{t0} - v_t T_{f0}) / g_c$
<i>d</i>	$T_{\dot{a}} - T_{\dot{a}b}$	$v + (k - v_t) g_f$	$(k T_{ab} - (k - v_t) T_{f0}) / g_d$
<i>e</i>	$T_t - T_{\dot{a}b}$	$1 + k g_f - g_t$	$(T_{t0} - k T_{f0} + k T_{ab}) / g_e$

Alla gränstemperaturer anger vid vilken utetemperatur som temperaturskillnaden är noll. Detta går enkelt att läsa av som skärningar mellan de temperaturer som ingår i den aktuella skillnaden i figur 5.2 för ett exempel. Korrektionsfaktor g_x är inget annat än skillnaden i lutning för de två temperaturlinjerna.

Vissa gränstemperaturer T_{gx} kan bli mycket låga och också negativa. Tabell A i Tabellappendix räcker därför inte till. Antalet gradtimmar har beräknats för gränstemperatur 5°C och lägre och redovisas i Tabell B i Tabellappendix.

Årsvärmebehovet för total tillsatsvärme ges som summan av fall *c* och *d* om $T_{gc} > T_{gd}$ annars som fall *e*.

$$E_e = E_c + E_d \quad (\text{°Ch}) \quad (5.13)$$

Årsvärmebehovet för total återvinning ges som skillnaden mellan fall *b* och *e*, dvs

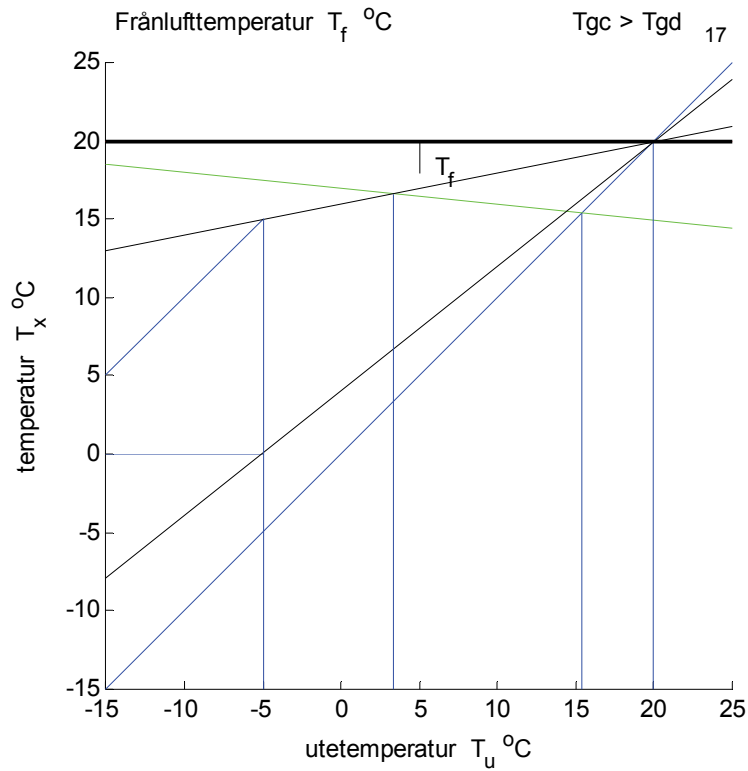
$$E_{\dot{a}} = E_b - E_e \quad (\text{°Ch}) \quad (5.14)$$

Fall *a* frånluftens årsenergibehov

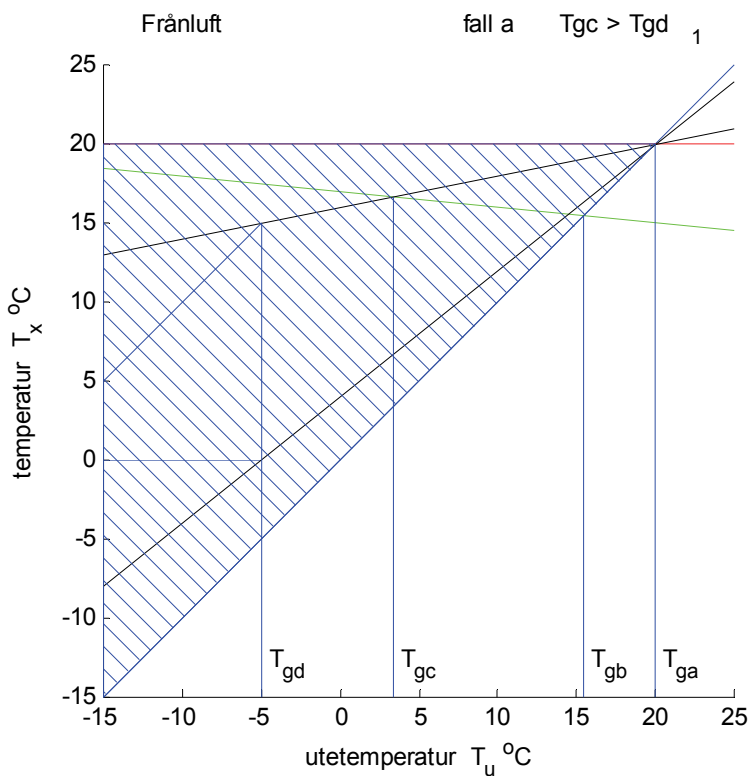
Beräkning sker med (5.1) som E_a enligt Tabell 5.1 och Figur 5.4 med tillhörande korrektionsfaktor g_a och gränstemperatur T_{ga} enligt Tabell 5.2 för frånluftstemperaturen definierad enligt (5.2) och enligt Figur 5.3.

Fall *b* tilluftens årsenergibehov

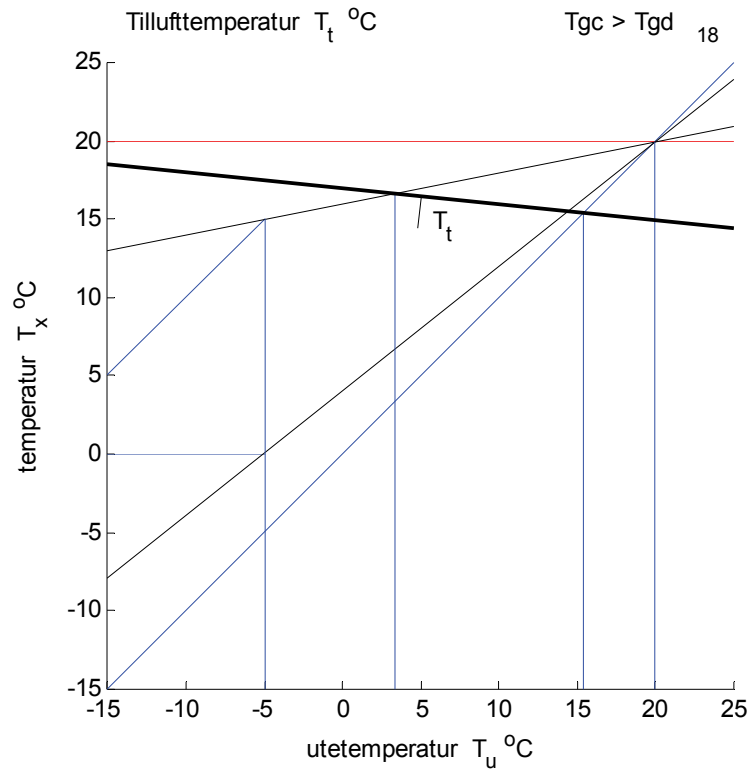
Beräkning sker med (5.1) som E_b enligt Tabell 5.1 och Figur 5.6 med tillhörande korrektionsfaktor g_b och gränstemperatur T_{gb} enligt Tabell 5.2 för tilluftstemperaturen definierad enligt (5.3) och enligt Figur 5.5.



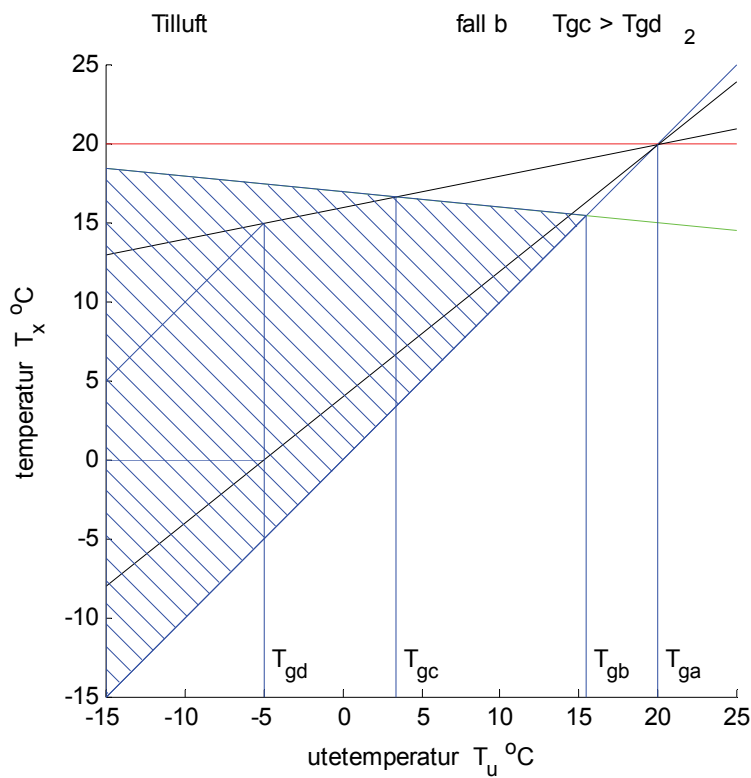
Figur 5.3 Funktionsdiagram för ventilation med markerad frånluftstemperatur.



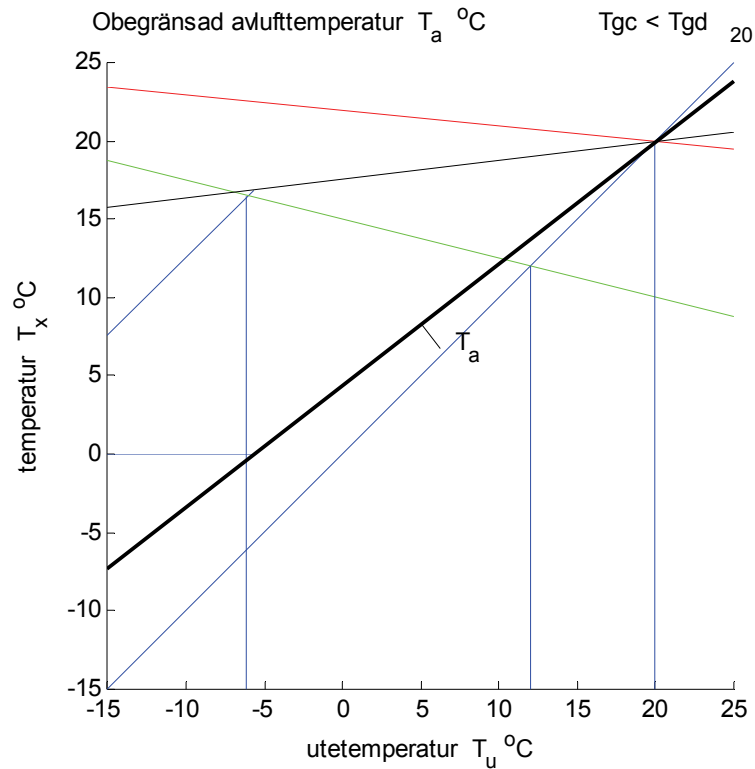
Figur 5.4 Funktionsdiagram för frånluftens värmebehov.



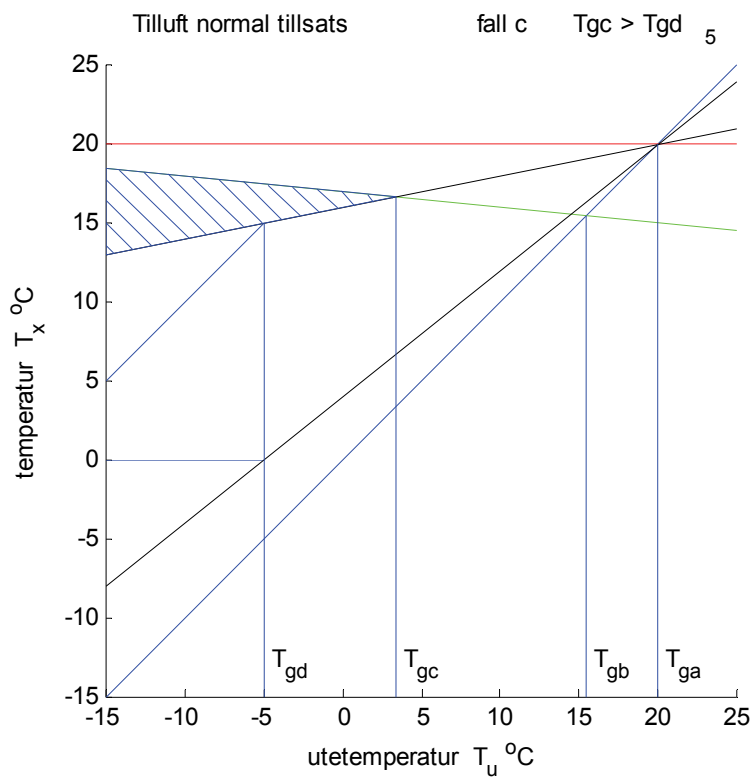
Figur 5.5 Funktionsdiagram för ventilation med markerad tilluftstemperatur.



Figur 5.6 Funktionsdiagram för tilluftens totala värmebehov.



Figur 5.8 Funktionsdiagramm obegränsad avluftstemperatur.

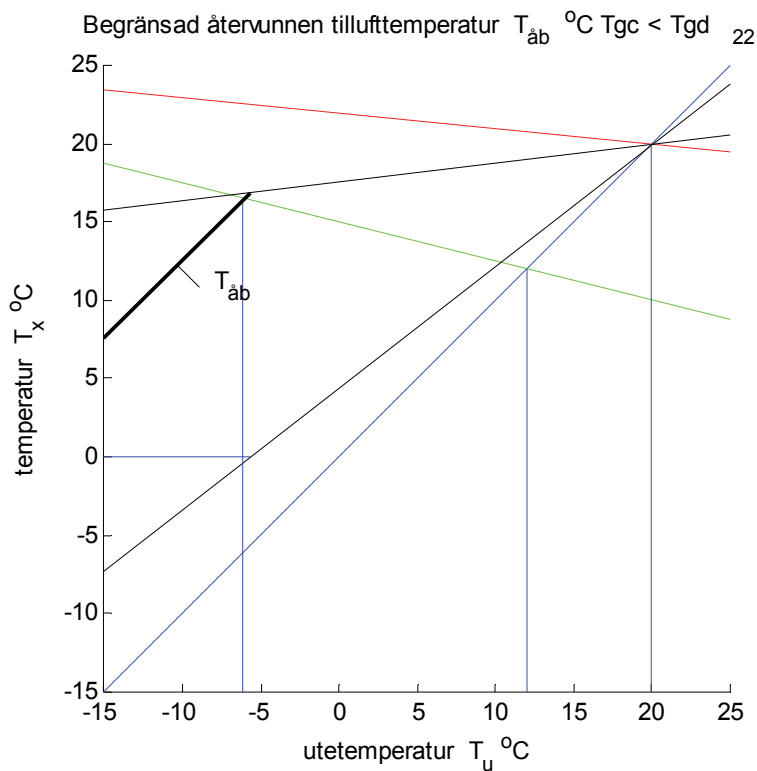


Figur 5.9 Funktionsdiagramm för tilluftens normala tillsatsvärmebehov.

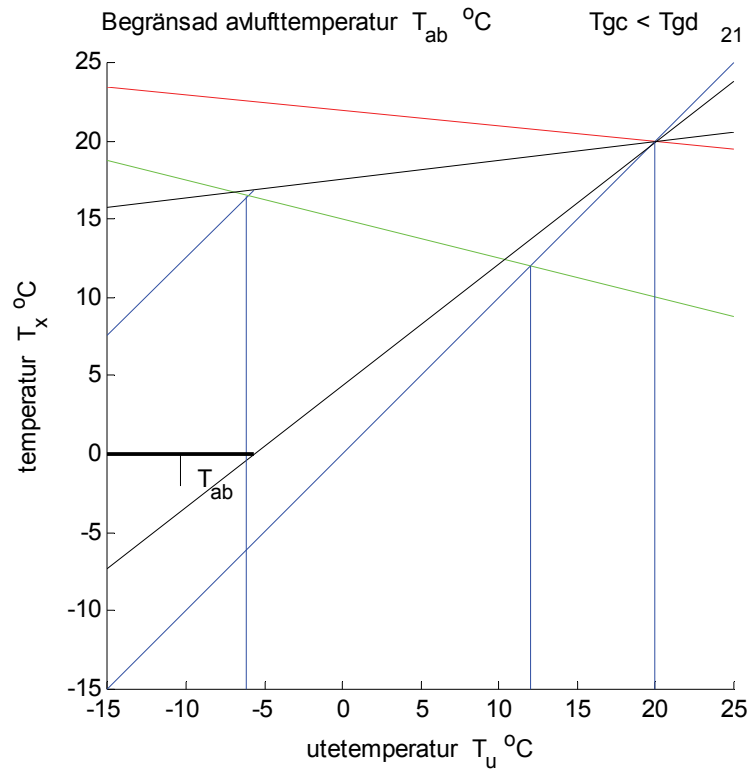
Fall d årsenergibehov för extra tillsatsvärme

Beräkning sker med (5.1) som E_d enligt Tabell 5.1 och Figur 5.12 med tillhörande korrektionsfaktor g_d och gränstemperatur T_{gd} enligt Tabell 5.2 för begränsad återvunnen tilluftstemperaturen definierad enligt (5.11) och enligt Figur 5.10. Avluftstemperaturen efter begränsad återvinning redovisas i Figur 5.11.

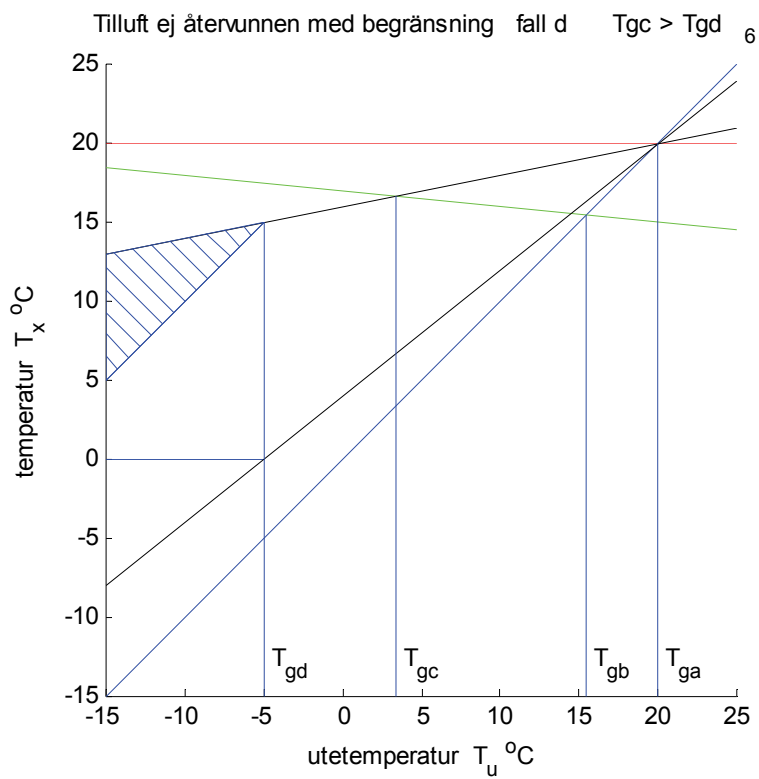
Tre funktionsdiagram redovisas också för den icke utnyttjade delen av frånluften i Figur 5.13, den totala tillsatsvärmén för tilluft i Figur 5.14 och den totala återvinningen för tilluft i Figur 5.15.



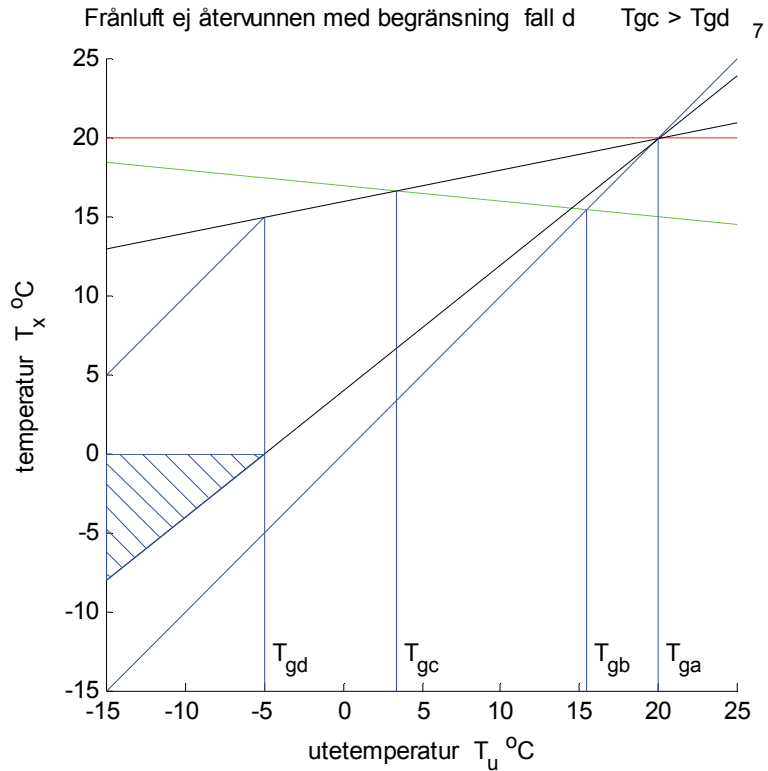
Figur 5.10 Funktionsdiagram med begränsad återvunnen temperatur.



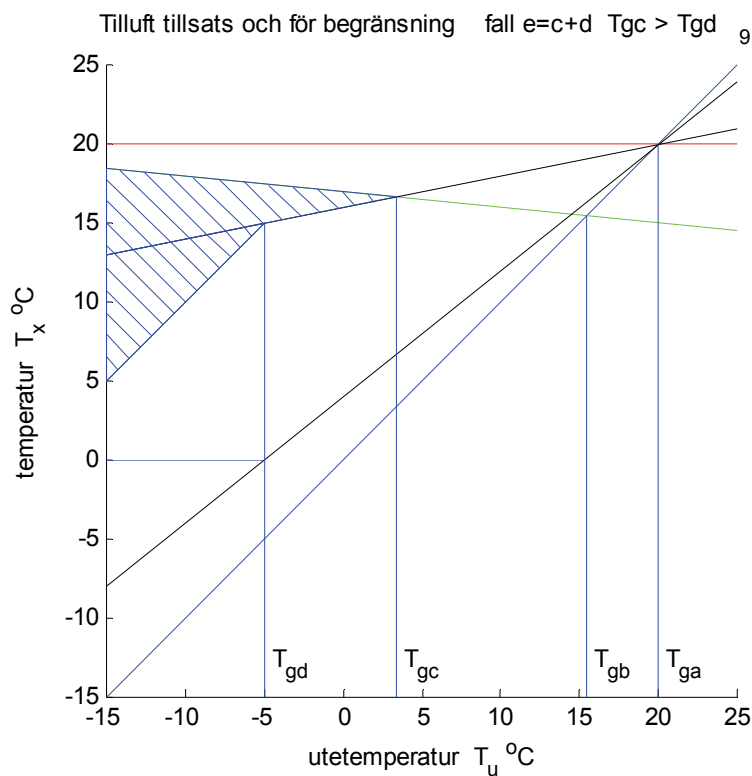
Figur 5.11 Funktionsdiagramm med begränsad avluftstemperatur.



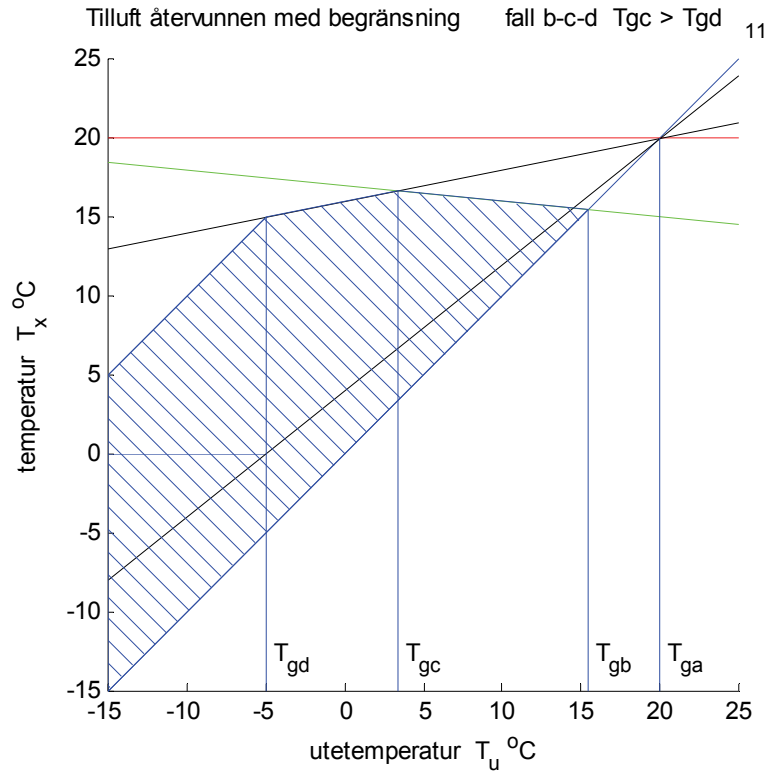
Figur 5.12 Funktionsdiagramm för extra tillsatsvärme vid begränsad återvinning.



Figur 5.13 Funktionsdiagram för bortbegränsad återvinning av frånluft.



Figur 5.14 Funktionsdiagram för totalt tillsatsvärmebehov för tilluft.



Figur 5.15 Funktionsdiagram för totalt återvunnen värme för tilluft.

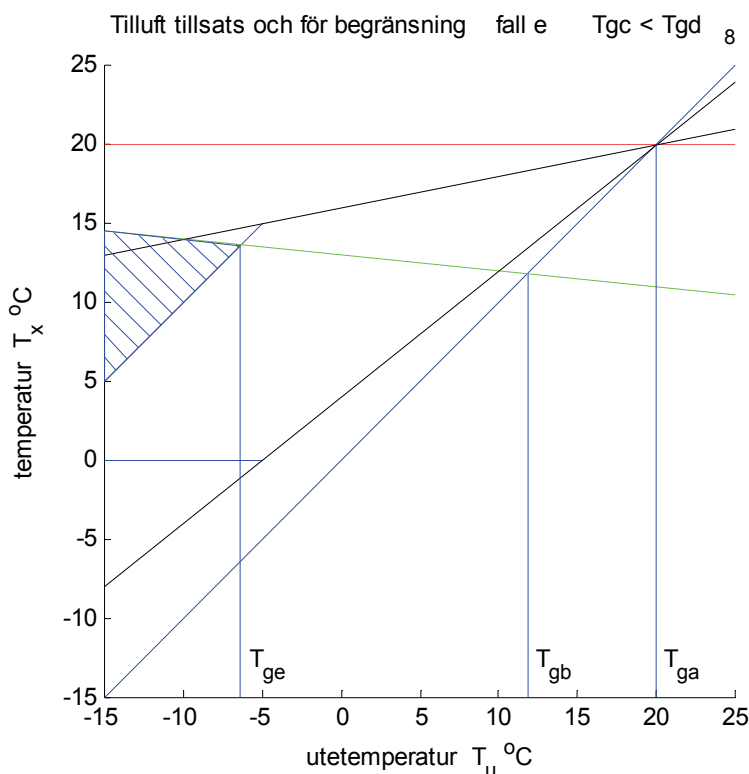
Fall e årsenergibehov för total tillsatsvärme

Det finns två beräkningsfall för tillsatsvärme för tilluft. Det ena fallet har redan redovisats som summan av fall c och d under förutsättningen att de två delfallens gränstemperaturer uppfyller olikheten $T_{gc} > T_{gd}$. Detta innebär att de två gränstemperaturerna för fall c och d måste först beräknas och därefter undersöks om olikheten uppfylls.

Om olikheten $T_{gc} > T_{gd}$ inte uppfylls sker beräkning av hela tillsatsvärmebehovet som fall e med (5.1) som E_e enligt Tabell 5.1 och Figur 5.16 med tillhörande korrektionsfaktor g_e och gränstemperatur T_{ge} enligt Tabell 5.2.

En granskning av Figur 5.16 visar att fall e , när det skall tillämpas, täcker en mindre yta än fall c och d tillsammans. Notera också att gränstemperaturen för fall e ligger mellan fall c och d .

Samma granskning av Figur 5.14 och jämförelse av fall c och d med fall e visar att fall c och d täcker en större yta än fall e . Notera också att gränstemperaturen för fall e ligger mellan fall c och d .



Figur 5.16 Funktionsdiagram för totalt tillsatsvärmebehov för tilluft när $T_{gc} < T_{gd}$.

6 Tillämpning på ventilationskyla

Tilluftskylbehovet för temperaturskillnaden $T_u - T_t$ beräknas som fall g . Notera att g_g säkert är negativ, men gradtimmarna för kylbehov är också negativa varför årsenergibehovet för kyla blir positivt beräknat enligt (5.1). Ett funktionsdiagram för fall g redovisas i Figur 6.1.

När utetemperaturen är högre än frånlufttemperaturen kan kylbehovet minskas om det finns värmeåtervinning och genom att köra den för fullt. Det återvunna tilluftskylbehovet fås för temperaturskillnaden $T_u - T_{\hat{a}}$ och beräknas som fall h . Notera att g_h säkert är negativ, men gradtimmarna för kylbehov är också negativa varför årsenergibehovet för kyla blir positivt beräknat enligt (5.1). Ett funktionsdiagram för fall h redovisas i Figur 6.2 och för det resterande kylbehovet i Figur 6.3.

De fall två fall som är av intresse är årskylberäkning av följande negativa temperaturskillnader enligt Tabell 6.1 och motsvarande korrektionsfaktorer g_x och gränstemperaturer T_{gx} i Tabell 6.2.

Tabell 6.1 Definition och beteckningar för olika beräkningsfall

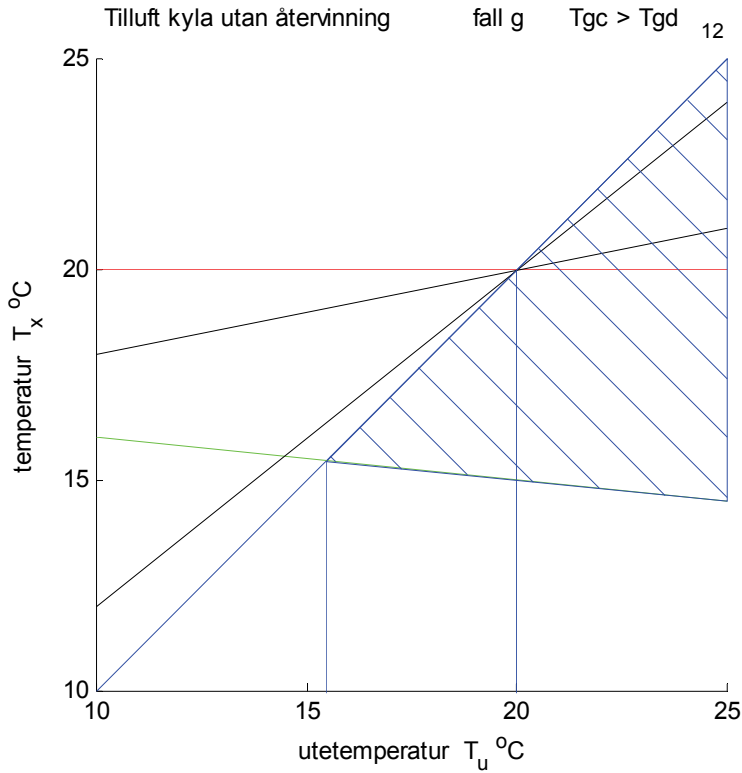
fall	skillnad		årsvärmebehov för
g	$T_u - T_t$	E_g	kyla tilluft
h	$T_u - T_{\hat{a}}$	E_h	återvunnen kyla tilluft

Tabell 6.2 Korrektionsfaktor g_x och gränstemperatur T_{gx}

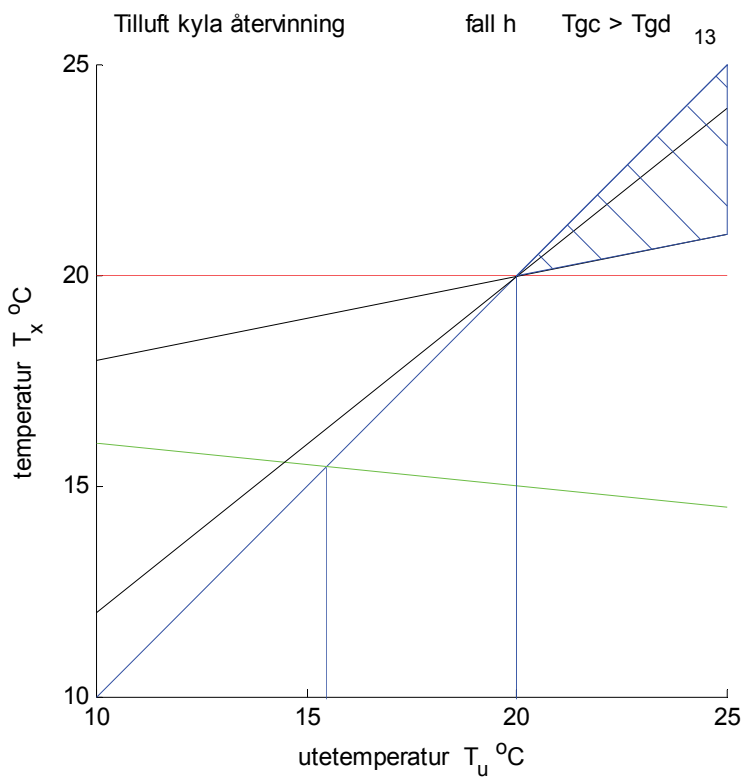
fall x	skillnad	korrektionsfaktor g_x	gränstemperatur T_{gx}
g	$T_u - T_t$	$g_t - 1$	$-T_{t0} / g_g$
h	$T_u - T_{\hat{a}}$	$v_t (g_t - 1)$	$-v_t T_{t0} / g_h$

Gradtimmevärdet för kyla beräknas indirekt med gradtimmar för värme och med årsmedeltemperaturen T_{um} tabellerad i Tabellappendix i Tabell E och beräkningsuttrycken (3.3) och (3.4) på sidan 21. Det nödvändiga uttrycket för att beräkna gradtimmar för kyla som är negativa blir därför följande:

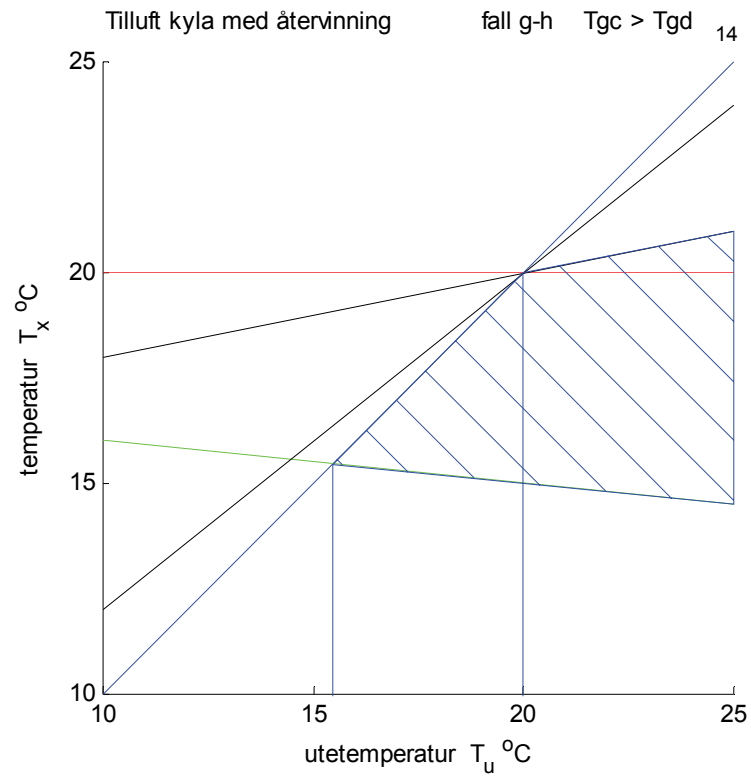
$$G_{t-}(T_g) = 8760 (T_g - T_{um}) - G_{t+}(T_g) \quad (\text{°Ch}) \quad (6.1)$$



Figur 6.1 Funktionsdiagram för totalt kylbehov.



Figur 6.2 Funktionsdiagram för återvunnen kyla.



Figur 6.3 Funktionsdiagram för totalt kylbehov minskat med återvunnen kyla.

7 Drifftids- och gradtimmefunktion

En nackdel med gradtimmetabellen är att det går inte att göra en förenklad analys som omfattar ett större temperaturområde, dvs flera rader av gradtimmetabellen. En lösning på detta problem är att ersätta gradtimmetabellen med en enkel funktion. Det enklaste antagandet som kan göras är att anta att frekvensen f är konstant i (T_{min}, T_{max}) och noll för övrigt. Detta antagande innebär samtidigt att median och medelvärde måste vara lika och mellan de tre parametrarna gäller sambandet

$$8760 = f(T_{max} - T_{min}) \quad (\text{h}) \quad (7.1)$$

Drifftidsfunktionen blir en linjär funktion för $T_{min} < T_g < T_{max}$ på formen:

$$d_t(T_g) = f(T_g - T_{min}) \quad (\text{h}) \quad (7.2)$$

Gradtimmefunktionen blir en kvadratisk funktion för $T_{min} < T_g < T_{max}$ på formen:

$$G_t(T_g) = f(T_g - T_{min})^2 / 2 \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (7.3)$$

Observera att drifftiden $d_t(T_g)$ är konstant 8760 h över T_{max} och därmed växer gradtimmefunktionen $G_t(T_g)$ endast linjärt över T_{max} med bidraget 8760 $(T_g - T_{min})$.

Den undre temperaturgränsen T_{min} och konstanten f bestäms enklast för en godtycklig temperatur T_m , tillhörande drifftid $d_t(T_m)$ och antal gradtimmar $G_t(T_m)$ och med hjälp av (7.2) och (7.3). Ett bra val av T_m är normalårstemperaturen T_{un} , vilket utnyttjar definitionen av mediantemperaturen med resultatet:

$$4380 = f(T_{un} - T_{min}) = f(T_{max} - T_{un}) \quad (\text{h}) \quad (7.4)$$

Parametrarna f , T_{min} och T_{max} har beräknats för olika normalårstemperaturer T_{un} och redovisas i Tabellappendix som Tabell F.1. Observera att den undre temperaturgränsen T_{min} inte får användas som dimensionerande lägsta utetemperatur. Detta gäller även för den övre gränstemperaturen T_{max} . Både drifftid och antal gradtimmar har beräknats enligt (7.2) och (7.3) för olika gränstemperaturer T_g . Det relativa felet är givetvis ett för intervallgränserna T_{min} och T_{max} men räknat i $^\circ\text{Ch}$ är felet mindre än 1200 för värmefallet och mindre än 1000 för kylfallet.

En enkel modell som utnyttjar att median och medelvärde är olika är att dela upp frekvensfunktionen i två intervall. Frekvensen f_{min} är konstant i (T_{min}, T_{un}) och f_{max} är konstant i (T_{un}, T_{max}) och med dessa antagande fås följande samband:

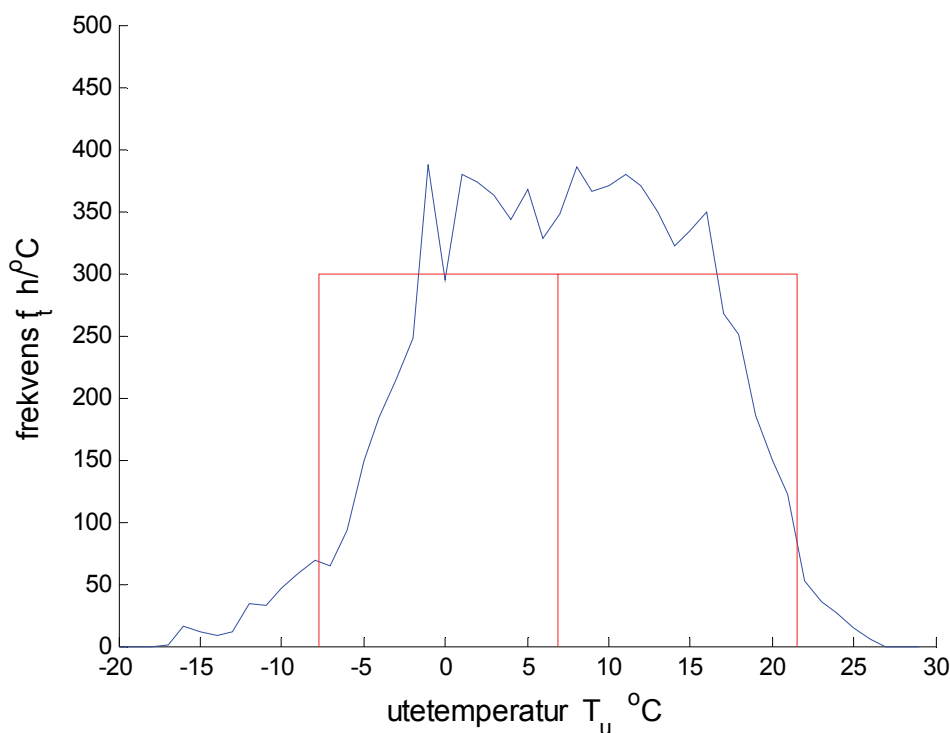
$$T_{max} = -T_{min} - 2T_{un} + 4T_{un} \quad (^\circ\text{C}) \quad (7.5)$$

Parametrarna f_{min} och T_{min} beräknas som tidigare och parametern T_{max} enligt (7.5) och efter insättning i (7.4) fås f_{max} . De beräknade parametrarna redovisas i Tabellappendix som Tabell F.2. Fördelen med den enkla frekvensfunktionen har nu delvis förlorats eftersom frekvensfunktionen består av två delar, vilket även drifttids- och gradtimmefunktionen kommer att göra. Fördelen är att felet blir mindre.

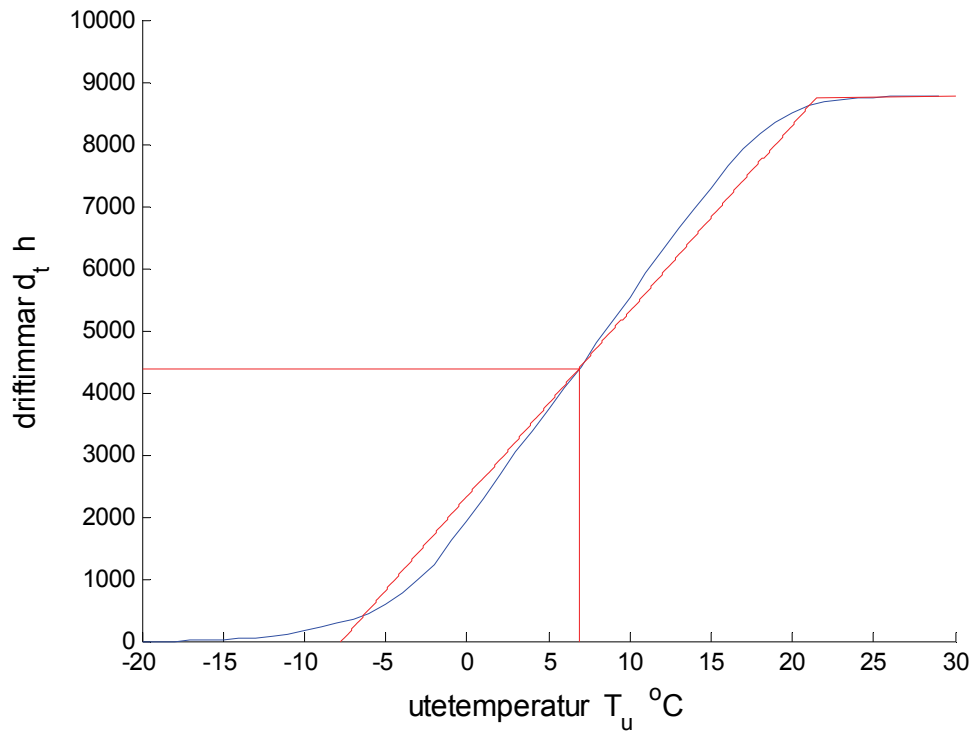
En förenkling är att behålla temperaturintervallet, men beräkna en för hela intervallet konstant frekvens f_{mix} enligt (7.1) och redovisas också i Tabellappendix som Tabell F.3. Felet för gradtimmefunktionen är dock störst kring normalårstemperaturen för denna frekvensfunktion, medan de två tidigare redovisade frekvensfunktionerna inte har något fel för gradtimmefunktionen för normalårstemperaturen.

Funktioner för frekvens, drifttid och gradtimmar har beräknats för Lindåsdata tidigare redovisade i Figur 1.1, vilket gav mediantemperaturen $T_{um} = 6.88$ °C och motsvarande gradtimmevärde 32025 °Ch.

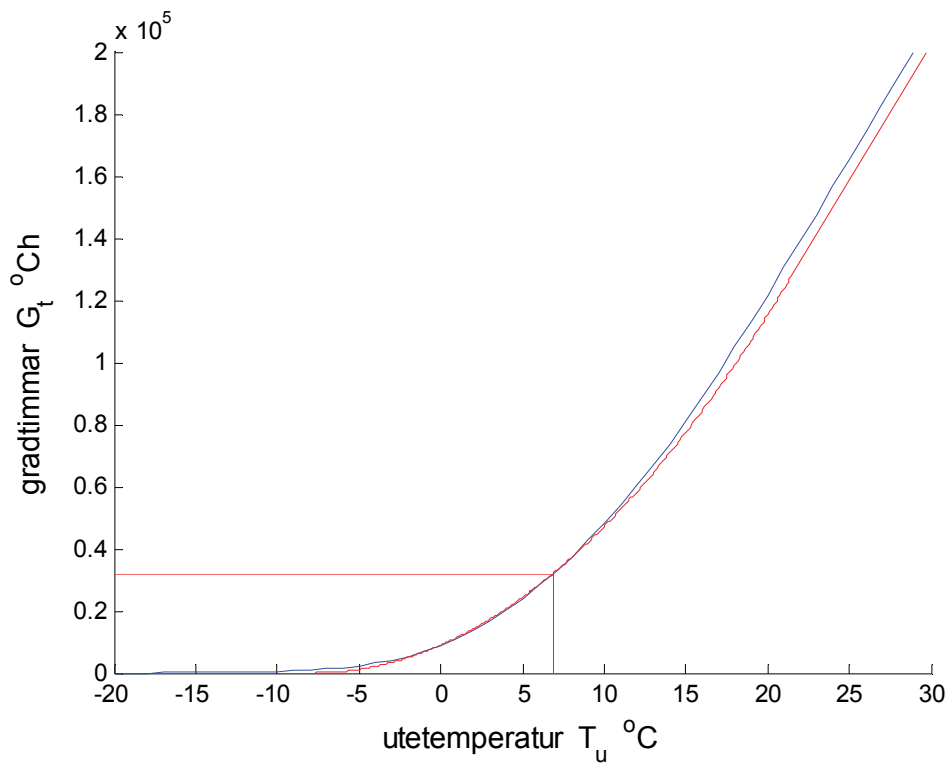
De tre förenklade funktionernas tre modellparametrar beräknades till $f = 299.52$ h/°C, $T_{min} = -7.74$ °C och $T_{max} = 21.50$ °C och redovisas tillsammans med mätdata in i Figur 7.1-3. Den förenklade konstanta frekvensfunktionen i Figur 7.1 beskriver den uppmätta frekvensen med måttliga fel, vilka medför att drifttid och gradtimmevärde avviker särskilt kring gränserna T_{min} och T_{max} . Det framgår också för drifttid i Figur 7.2 och gradtimmevärde i Figur 7.3 att felet noll för mediantemperaturen som använts vid parameterbestämningen.



Figur 7.1 Uppmätt och förenklad frekvens för Lindåsdata.



Figur 7.2 Uppmätt och förenklad drifttid för Lindåsdata.



Figur 7.3 Uppmätt och förenklad gradtimmevärde för Lindåsdata.

Tabellappendix A-F

Detta appendix innehåller åtta olika tabeller, varav fyra anger olika gradtimmevärden. Gradtimmetabellerna är hämtade från VVS-handboken Tabeller och diagram (1974). Alla gradtimmetabeller har gränstemperaturen T_g som y-axel. Samtliga tabeller har normalårstemperaturen T_{un} eller mediantemperaturen som x-axel.

Tabellvärden från VVS-handbokens tabell 7:30,1 och 7.34,1 har sorten kJh/kg luft år som kan sättas lika med °Ch, eftersom specifika värmets för luft kan sättas till 1000 J/kgK.

Sammanställningen nedan visar vilka tabeller som redovisas i vilken följd och deras ursprung.

Tabell	Typ	Ursprung
A	°Ch-tabell G ₀₀₂₄	VVS-handboken 7:30,1 tabell
B	°Ch-tabell G ₀₀₂₄	VVS-handboken 7:28,1 diagram
C	°Ch-tabell G ₀₉₂₁	VVS-handboken 7:34,1 tabell
D	°Ch-tabell G ₊	beräknad enligt (2.7) med Tabell A och C
E	årsmedeltemperatur	beräknad med Tabell A och VVS-handboken 7.31,1 tabell
F.1	frekvensfunktion f	beräknad (7.4)
F.2	frekvensfunktion $f_{min} f_{max}$	beräknad (7.4-5)
F.3	frekvensfunktion f_{mix}	beräknad (7.4-5)

Tabell A Grattimmar °Ch G₀₀₂₄ för hela dygnet 0-25 °C

T_g °C	T_{un} °C										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
25	238900	229400	220300	211200	202000	192900	184000	174900	165600	156800	147300
24	230100	220600	211600	202500	192300	184200	175300	166300	157000	148300	138700
23	221400	211900	202900	193800	184600	175600	166700	157700	148500	139800	130300
22	212750	203200	194300	185200	176000	167000	158200	149200	140000	131300	121900
21	204100	194600	185700	176600	167500	158600	149700	140800	131600	123000	113600
20	195500	186100	177200	168100	159000	150100	141300	132400	123300	114800	105500
19	187000	177600	168700	159700	150600	141800	133000	124200	115200	106700	97600
18	178500	169200	160300	151300	142300	133600	124900	116100	107200	98900	90000
17	170100	160800	152000	143100	134100	125400	116800	108200	99500	91400	82700
16	161700	152500	143800	135000	126100	117500	109000	100500	92000	84200	75700
15	153500	144300	135700	127000	118200	109700	101400	93200	84900	77200	69000
14	145400	136300	127700	119200	110500	102300	94100	86100	78000	70600	62700
13	137400	128400	120000	111500	103100	95000	87100	79300	71500	64300	56600
12	129600	120800	112400	104200	96000	88000	80300	72700	65200	58200	50900
11	121900	113300	105100	97000	89000	81400	73900	66500	59300	52500	45400
10	114500	106000	98000	90100	82400	74900	67700	60600	53600	47100	40300
9	107200	99000	91200	83500	76000	68800	61800	54900	48200	42000	35500
8	100200	92200	84600	77200	69900	62900	56200	49600	43200	37100	31100
7	93500	85800	78300	71100	64100	57400	50800	44500	38400	32600	26900
6	87000	79500	72300	65300	58500	52000	45800	39700	33900	28400	23000
5	80750	73500	66500	59700	53200	47000	41000	35200	29700	24500	19500
4	74773	67794	61066	54537	48310	42382	36655	31129	25904	20980	16260
3	69043	62338	55884	49631	43680	38030	32582	27337	22397	17763	13340
2	63560	57131	50955	44981	39310	33942	28780	23824	19178	14847	10740
1	58323	52174	46278	40586	35200	30120	25248	20590	16248	12233	8460
0	53333	47466	41853	36447	31350	26562	21988	17634	13607	9920	6500

Tabell B Gradtimmar G_{0024} °Ch för hela dygnet -25- 0 °C

T_g °C	T_{un} °C										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	53333	47466	41853	36447	31350	26562	21988	17634	13607	9920	6500
-1	48590	43007	37681	32565	27760	23270	19000	14957	11254	7910	4861
-2	44093	38797	33761	28937	24430	20242	16282	12559	9190	6191	3523
-3	39843	34837	30093	25566	21360	17480	13835	10440	7400	4742	2457
-4	35840	31126	26678	22451	18550	14982	11660	8582	5860	3539	1631
-5	32083	27664	23515	19591	16000	12749	9736	6959	4549	2558	1014
-6	28573	24451	20604	16987	13710	10763	8037	5555	3450	1778	577
-7	25310	21488	17946	14639	11661	8994	6548	4353	2544	1175	287
-8	22293	18774	15540	12530	9827	7430	5255	3339	1813	727	116
-9	19523	16310	13369	10633	8197	6059	4145	2496	1237	410	31
-10	17000	14080	11411	8938	6757	4868	3203	1808	798	202	2
-11	14711	12063	9654	7434	5497	3844	2416	1260	477	79	0
-12	12637	10248	8087	6108	4404	2975	1770	836	257	20	0
-13	10768	8626	6700	4951	3467	2248	1250	519	117	1	0
-14	9093	7184	5481	3949	2673	1650	844	295	40	0	0
-15	7602	5913	4420	3093	2010	1169	537	146	7	0	0
-16	6283	4801	3505	2370	1467	792	315	59	0	0	0
-17	5126	3838	2726	1770	1032	506	164	15	0	0	0
-18	4121	3013	2072	1281	693	299	72	1	0	0	0
-19	3256	2316	1532	891	437	157	22	0	0	0	0
-20	2522	1736	1095	590	254	70	3	0	0	0	0
-21	1907	1261	750	365	131	22	0	0	0	0	0
-22	1402	882	487	206	55	3	0	0	0	0	0
-23	994	588	293	102	16	0	0	0	0	0	0
-24	675	368	159	40	2	0	0	0	0	0	0
-25	432	211	74	10	0	0	0	0	0	0	0

Tabell C Grattimmar G_{0921} °Ch för kl 09-21 5-25 °C

T_g °C	T_{un} °C										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
25	114000	109400	104800	100400	95700	91300	86900	82300	77700	73200	68500
24	109700	105100	100500	96100	91400	87000	82600	78000	73400	69000	64300
23	105400	100800	96200	91800	87100	82700	78400	73800	69300	64800	60200
22	101100	96500	91900	87500	82900	78500	74200	69600	65100	60800	56200
21	96800	92200	87700	83300	78700	74300	70000	65500	61100	56800	52300
20	92600	88000	83500	79200	74600	70200	66000	61500	57200	52900	48500
19	88400	83900	79400	75100	70500	66200	62000	57600	53300	49100	44900
18	84300	79800	75300	71000	66500	62300	58100	53800	49600	45600	41400
17	80200	75800	71300	67100	62600	58500	54400	50100	46000	42100	38100
16	76200	71800	67400	63200	58800	54700	50700	46600	42600	38800	34900
15	72200	67900	63600	59400	55100	51100	47200	43200	39300	35600	31800
14	68400	64100	59800	55800	51500	47600	43700	39900	36100	32600	28900
13	64600	60400	56200	52200	48000	44200	40500	36700	33100	29600	26100
12	60900	56700	52600	48700	44700	40900	37300	33700	30200	26900	23500
11	57300	53200	49200	45400	41600	37800	34300	30800	27400	24200	21000
10	53800	49800	45900	42200	38400	34800	31400	28100	24800	21700	18700
9	50400	46500	42700	39100	35500	32000	28700	25400	22300	19400	16400
8	47100	43300	39600	36100	32600	29200	26100	23000	20000	17200	14400
7	44000	40300	36700	33300	29900	26600	23600	20600	17700	15000	12400
6	40900	37300	33800	30500	27300	24200	21200	18400	15600	13100	10700
5	38000	34500	31100	27900	24800	21800	19000	16300	13700	11300	9000

Tabell D Gradtimmar G_+ °Ch enligt (2.7) 5-25 °C

T_g °C	T_{un} °C										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
25	5450	5300	5350	5200	5300	5150	5100	5150	5100	5200	5150
24	5350	5200	5300	5150	4750	5100	5050	5150	5100	5150	5050
23	5300	5150	5250	5100	5200	5100	4950	5050	4950	5100	4950
22	5375	5100	5250	5100	5100	5000	4900	5000	4900	4850	4750
21	5250	5100	5150	5000	5050	5000	4850	4900	4700	4700	4500
20	5150	5050	5100	4850	4900	4850	4650	4700	4450	4500	4250
19	5100	4900	4950	4750	4800	4700	4500	4500	4300	4250	3900
18	4950	4800	4850	4650	4650	4500	4350	4250	4000	3850	3600
17	4850	4600	4700	4450	4450	4200	4000	4000	3750	3600	3250
16	4650	4450	4500	4300	4250	4050	3800	3650	3400	3300	2950
15	4550	4250	4250	4100	4000	3750	3500	3400	3150	3000	2700
14	4300	4050	4050	3800	3750	3550	3350	3150	2900	2700	2450
13	4100	3800	3800	3550	3550	3300	3050	2950	2650	2550	2200
12	3900	3700	3600	3400	3300	3100	2850	2650	2400	2200	1950
11	3650	3450	3350	3100	2900	2900	2650	2450	2250	2050	1700
10	3450	3200	3100	2850	2800	2650	2450	2200	2000	1850	1450
9	3200	3000	2900	2650	2500	2400	2200	2050	1800	1600	1350
8	3000	2800	2700	2500	2350	2250	2000	1800	1600	1350	1150
7	2750	2600	2450	2250	2150	2100	1800	1650	1500	1300	1050
6	2600	2450	2350	2150	1950	1800	1700	1450	1350	1100	800
5	2375	2250	2150	1950	1800	1700	1500	1300	1150	950	750

Tabell E Beräknad årsmedeltemperatur T_{um} °C

T_{un} °C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{um} °C	-2.27	-1.19	-0.16	0.89	1.95	2.98	4.00	5.04	6.12	7.12	8.23

Tabell F.1 Förenklad frekvensfunktion enligt (7.4)

T_{un} °C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{min} °C	-22.13	-20.64	-19.11	-17.53	-15.95	-14.37	-12.74	-11.07	-9.48	-7.89	-6.20
T_{max} °C	18.13	18.64	19.11	19.53	19.95	20.37	20.74	21.07	21.48	21.89	22.20
f h/°C	217.54	223.04	229.19	236.34	244.01	252.23	261.69	272.51	282.96	294.24	308.43

Tabell F.2 Förenklad frekvensfunktion enligt (7.4-5)

T_{un} °C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{min} °C	-22.13	-20.64	-19.11	-17.53	-15.95	-14.37	-12.74	-11.07	-9.48	-7.89	-6.20
T_{max} °C	17.05	17.88	18.47	19.09	19.75	20.29	20.74	21.23	21.96	22.37	23.12
f_{min} h/°C	217.54	223.04	229.19	236.34	244.01	252.23	261.69	272.51	282.96	294.24	308.43
f_{max} h/°C	229.88	232.02	237.13	242.09	246.76	253.39	261.69	269.82	274.45	285.05	289.67

Tabell F.3 Förenklad frekvensfunktion enligt (7.4-5)

T_{un} °C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{min} °C	-22.13	-20.64	-19.11	-17.53	-15.95	-14.37	-12.74	-11.07	-9.48	-7.89	-6.20
T_{max} °C	17.05	17.88	18.47	19.09	19.75	20.29	20.74	21.23	21.96	22.37	23.12
f_{mix} h/°C	223.54	227.44	233.09	239.18	245.38	252.81	261.69	271.16	274.45	285.05	298.75