



LUND UNIVERSITY

Utetemperaturberoende årsenergibehov - Exempeldel

Jensen, Lars

2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2008). *Utetemperaturberoende årsenergibehov - Exempeldel*. (TVIT; Vol. TVIT-7029). 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

Exempeldel

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2008
Rapport TVIT--08/7029



Lunds Universitet

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

Avdelningen för installationsteknik

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

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

Utetemperaturberoende årsenergibehov

Exempeldel

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2008

ISRN LUTVDG/TVIT--08/7029--SE(32)

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

Innehållsförteckning

1	Inledning och några begrepp	Exempel 1.1-4	5
2	Beräkning med gradtimmar	Exempel 2.1-6	7
3	Beräkning med årsmedeltemperatur	Exempel 3.1-4	11
4	Tillämpning på uppvärmning	Exempel 4.1-11	13
5	Tillämpning på ventilationsvärme	Exempel 5.1-2	19
6	Tillämpning på ventilationskyla	Exempel 6.1-2	23
7	Drifttids- och gradtimmefunktion	Exempel 7.1-4	25
	Tabellappendix A-F		27

1 Inledning och några begrepp

Denna rapport är en exempeldel till 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.

Teoridelen finns som arbetsrapport TVIT—08/7023, vars beräkningsuttryck refereras här som (n.n). Räkneexemplen följer teoridelens olika avsnitt, vilket framgår av innehållsförteckningen.

En annan arbetsrapport TVIT—08/7027 kommer att behandla olika enkla bygg- och installationstekniska optimeringsfall. Flera exempel bygger för förenklade gradtimme- och drifttidsfunktioner.

Exempel 1.1

Bestäm drifttiderna d_t för uppvärmning till gränstemperatur $T_g = 10\text{ °C}$ och 20 °C för normalårstemperaturen $T_{un} = 0\text{ °C}$ och 8 °C .

Beräkningsuttryck (1.6) tillämpas.

T_{un} °C	T_g °C	$G_t(T_g+1)$ °Ch	$G_t(T_g-1)$ °Ch	$d_t(T_g)$ h
0	10	105100	91200	6950
8	10	45400	35500	4950
0	20	185700	168700	8500
8	20	113600	97600	8000

Exempel 1.2

Beräkna drifttiden för gränstemperaturen lika med normalårstemperaturerna för 6, 7 och 8 °C . Drifttiden bör bli lika med 4380 h.

Beräkningsuttryck (1.6) tillämpas.

T_{un} °C	T_g °C	$G_t(T_g+1)$ °Ch	$G_t(T_g-1)$ °Ch	$d_t(T_g)$ h
6	6	38400	29700	4350
7	7	37100	28400	4350
8	8	35500	26900	4300

Exempel 1.3

Beräkna drifttiden för gränstemperaturen 25 °C och normalårstemperaturen 0, 4 och 8 °C.

Uttryck (1.6) kan inte användas, men skillnaden mellan gradtimmevärdet för 25 °C och för 24 °C används. Detta motsvarar egentligen drifttiden för gränstemperaturen 24.5 °C.

T_{un} °C	T_g °C	$G_t(T_g)$ °Ch	$G_t(T_g-1)$ °Ch	$d_t(T_g)$ h
0	25	220300	211600	8700
4	25	184000	175300	8700
8	25	147300	138700	8600

Utetemperaturen är sällan över 25 °C och därför blir driftiden nästan lika med årets timantal 8760.

Exempel 1.4

Beräkna frekvensen $f_h(T)$ enligt (1.7) för $T_{un} = 6$ °C, $h = 1, 2$ och 3 °C och gränstemperaturerna $T_g = 16 - 19$ °C.

T °C	$G_t(T)$ °Ch	$f_1(T)$ h/°C	$f_2(T)$ h/°C	$f_3(T)$ h/°C
13	71500			
14	78000	400		
15	84900	200	300	
16	92000	400	300	300
17	99500	200	275	256
18	107200	300	225	233
19	115200	100	175	178
20	123300	200	150	
21	131600	100		
22	140000			

2 Beräkning med gradtimmar

Exempel 2.1

Beräkna gradtimmar för gränstemperaturen 20 °C och normalårstemperaturen 8 °C för tidsperioderna 00-24, 09-21, 21-09 och 06-18.

Tabell A ger för 00-24 gradtimmevärdet 105500 °Ch.

Tabell C ger för 09-21 gradtimmevärdet 48500 °Ch, vilket är mindre än hälften av heldygnsvärdet ovan.

Skillnaden mellan Tabell A och C ger för 21-09 gradtimmevärdet 57000 °Ch.

Gradtimmevärdet för 06-18 beräknas med (2.7), (2.8) och Tabell A och D. Funktionsvärdet $f(6,18)$ blir enligt (2.8) -0.707 och enligt (2.7) fås gradtimmevärdet som:

$$G_{0618} = ((18-6)/24) \cdot 105500 + (-0.707) \cdot 4250 = 49745 \text{ °Ch}$$

Gradtimmar kan skattas förenklat med den första termen i (2.7), vilket är regelrätt tidsproportionering och felet är den andra termen i (2.7). Funktionen $f(a,b)$ är alltid absolut mindre än ett. Felet kan därför aldrig bli större än de redovisade gradtimmevärden i Tabell D.

Exempel 2.2

Beräkna medelövertemperaturen för dygnets varmare halva för hela året och normalårstemperaturen 0, 4 och 8 °C. Antag att drifttiden är 8760 h för gränstemperaturen 25 °C i samtliga fall.

Gradtimmevärdet i Tabell D är inget annat än halva årets timmar 4380 h multiplicerat med den sökta övertemperaturen ΔT och för de tre fallen fås:

$$\Delta T_8 = 5150/4380 = 1.18 \text{ °C}$$

$$\Delta T_4 = 5100/4380 = 1.16 \text{ °C}$$

$$\Delta T_0 = 5350/4380 = 1.22 \text{ °C}$$

Skillnaderna är små och avrundning av gradtimmevärden i Tabell A till hela hundratal °Ch motsvarar omkring 0.01.

Exempel 2.3

Skatta utetemperaturens amplitud för en dygnsperiod med antagande om en sinusformad dygnsvariation för hela året och normalårstemperaturen 0, 4 och 8 °C. Antag att drifttiden är 8760 h för gränstemperaturen 25 °C i samtliga fall.

Medelövertemperaturen för en positiv halvperiod kan räknas om till amplituden dT med faktorn $\pi/2$, vilket ger:

$$dT_8 = \pi \Delta T_8 / 2 = \pi \cdot 1.18 / 2 = 1.85 \text{ °C}$$

$$dT_4 = \pi \Delta T_4 / 2 = \pi \cdot 1.16 / 2 = 1.83 \text{ °C}$$

$$dT_0 = \pi \Delta T_0 / 2 = \pi \cdot 1.22 / 2 = 1.92 \text{ °C}$$

Amplituden är ett medelvärde för alla årets dygn. Klara dygn har mycket stora variationer, medan mulna dygn har mycket små variationer.

Exempel 2.4

Skatta utetemperaturens amplitud för en årsperiod för normalårstemperaturerna 0, 4 och 8 °C.

Det finns många olika sätt att skatta amplituden för en årsvariation. Antag att skillnaden mellan normalårstemperatur och mediantemperatur kan försummas. Den kalla halvan av året används för att skatta amplituden kring medelvärdet. Amplituden dT kan räknas om till en medelundertemperatur för en halvperiod ΔT med faktorn $2/\pi$. Antalet gradtimmar för den kalla halvan av året kan bestämmas med Tabell A.

$$dT_8 = (\pi/2) G_8 / 4380 = \pi \cdot 31100 / 8760 = 11.15 \text{ °C}$$

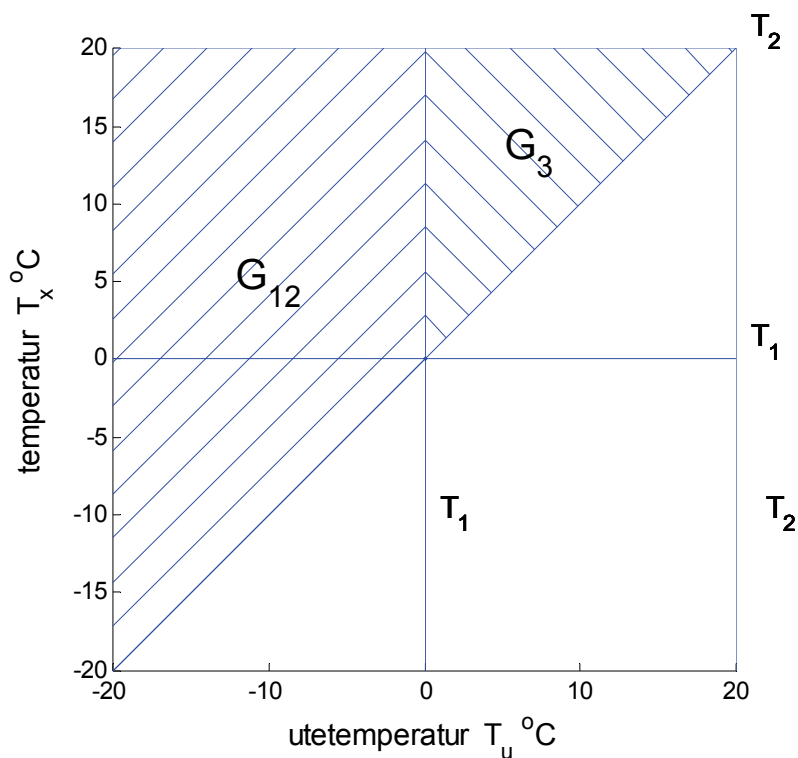
$$dT_4 = (\pi/2) G_4 / 4380 = \pi \cdot 36665 / 8760 = 13.15 \text{ °C}$$

$$dT_0 = (\pi/2) G_0 / 4380 = \pi \cdot 41853 / 8760 = 15.01 \text{ °C}$$

Det kallare klimatet är mer kontinentalt med en större årsamplitud jämfört med ett mera maritimt klimat.

Exempel 2.5

Hur stor del av uppvärmningsbehovet räknat i gradtimmar avser uttemperaturer över 0 °C G_3 och under 0 °C G_{12} för gränstemperaturen 20 °C och normalårstemperaturen 8 °C enligt funktionsdiagram nedan.



Beräkning sker med uttrycken (2.9-12). Det totala antalet gradtimmar för gränstemperaturen 20 °C och för 0 °C fås ur Tabell A som:

$$G_{123} = 105500 \text{ °Ch}$$

$$G_1 = 6500 \text{ °Ch}$$

Drifttiden under 0 °C beräknas enligt (1.6) med gradtimmevärden från Tabell A och Tabell B som följer:

$$d_1 = (8460 - 4861) / 2 = 1800 \text{ h}$$

Det sökta gradtimmevärdet för uttemperaturer under 0 °C fås som:

$$G_{12} = G_1 + (20 - 0) d_1 = 6500 + 20 \cdot 1800 = 42500 \text{ °Ch}$$

Det sökta gradtimmevärdet för uttemperaturer över 0 °C fås som:

$$G_3 = G_{123} - G_{12} = 105500 - 42500 = 63000 \text{ °Ch}$$

Exempel 2.6

Beräkna gradtimmar för gränstemperaturen 20 °C och normalårstemperaturen 8 °C för tidsperioderna 00-18 och 12-06 och 06-12.

Tabell A ger för 00-24 gradtimmevärdet 105500 °Ch.

Gradtimmevärdet för 00-18 beräknas med (2.7), (2.8) och Tabell A och D. Funktionsvärdet $f(0,18)$ blir enligt (2.8) noll och enligt (2.7) fås gradtimmevärdet som:

$$G_{0018} = (18/24) \cdot 105500 + 0 \cdot 4250 = 79125 \text{ °Ch}$$

Tidsperioden ligger symmetriskt kring tidpunkter, vars temperatur är lika medeldygnstemperaturer kl 09 och 15.

Gradtimmevärdet för 12-06 beräknas med (2.7), (2.8) och Tabell A och D. Funktionsvärdet $f(12,6)$ blir enligt (2.8) noll och enligt (2.7) fås gradtimmevärdet som:

$$G_{1206} = (18/24) \cdot 105500 + 0 \cdot 4250 = 79125 \text{ °Ch}$$

Tidsperioden ligger symmetriskt kring tidpunkter, vars temperatur är lika medeldygnstemperaturer kl 09 och 15.

Gradtimmevärdet för 06-12 beräknas med (2.7), (2.8) och Tabell A och D. Funktionsvärdet $f(6,12)$ blir enligt (2.8) noll och enligt (2.7) fås gradtimmevärdet som:

$$G_{0018} = (6/24) \cdot 105500 + 0 \cdot 4250 = 26375 \text{ °Ch}$$

Tidsperioden ligger symmetriskt kring tidpunkter, vars temperatur är lika medeldygnstemperaturer kl 09 och 15.

3 Beräkning med årsmedeltemperatur

Exempel 3.1

Beräkna gradtimmar för värme med årsmedeltemperaturen för gränstemperaturerna 25, 20, 15 och 10 °C och normalårstemperaturen 8 °C. Jämför med tabellerat gradtimmevärde och beräkna fel och relativt fel.

Beräkning sker med (3.1) och med årsmedeltemperatur enligt Tabell E. Resultatet visas nedan.

T_g °C	G_m °Ch	G_t °Ch	$G_m - G_t$ °Ch	$G_m / G_t - 1$ -
25	146905	147300	-395	-0.003
20	103105	105500	-2395	-0.023
15	59305	69000	-9695	-0.141
10	15505	40300	-24795	-0.615

Siffrorna visar att felet är litet för gränstemperaturer 20 °C och högre. Normalårstemperaturen har också betydelse och den är här den högsta för Sverige.

Exempel 3.2

Som exempel 3.1 och hur stort blir felet om normalårstemperaturen och mediantemperaturen används i stället för årsmedeltemperaturen.

Temperaturskillnaden är 0.23 °C enligt Tabell E och multiplicerat med årets timmar 8760 h fås gradtimmevärdet 2015 °Ch.

Exempel 3.3

Beräkna gradtimmar för kyla med årsmedeltemperaturen för gränstemperaturerna 25, 20, 15 och 10 °C och normalårstemperaturen 8 °C.

Gradtimmar för kylbehov beräknas med (3.1) och (3.4) och lika med felet för gradtimmeberäkning med årsmedelvärde enligt (3.1) jämfört med ett exakt gradtimmevärde enligt Tabell A eller B.

Felet finns redan beräknat och redovisat för Exempel 3.1 ovan.

Exempel 3.4

Beräkna gradtimmar för värme med årsmedeltemperaturen för gränstemperaturerna 25, 20, 15 och 10 °C och normalårstemperaturen 0 °C. Jämför med tabellerat gradtimmevärde och beräkna fel och relativt fel.

Beräkning sker med (3.1) och med årsmedeltemperatur enligt Tabell E. Resultatet visas nedan.

T_g °C	G_m °Ch	G_t °Ch	$G_m - G_t$ °Ch	$G_m / G_t - 1$ -
25	220402	220300	102	0.001
20	176602	177200	-598	-0.003
15	132802	135700	2898	-0.021
10	89002	98000	8998	-0.092

Siffrorna visar att felet är litet för gränstemperaturer 20 °C och högre. Normalårstemperaturen har också betydelse. Det relativa felet är mindre än de i Exempel 3.1 med normalårstemperaturen 8 °C.

4 Tillämpning på uppvärmning

Exempel 4.1

Beräkna värmebehovet för ett småhus med $Q_t = 83 \text{ W/}^\circ\text{C}$, frånluftsventilation med flöde $q = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$, ingen återvinning $v = 0$ och ständig drift $d = 1$. Årets normaltemperatur är $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Gratisvärmestillskottet är 4380 kWh . Innetemperaturen är $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Beräkna Q_v enligt (4.2)

$$Q_v = 1200 \cdot 0.035 \cdot (1 - 0) \cdot 1 = 42 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Beräkna Q enligt (4.4)

$$Q = 83 + 42 = 125 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Beräkna P_g enligt (4.3)

$$P_g = 4380 / 8760 \text{ kW} = 500 \text{ W}$$

Beräkna T_g enligt (4.7)

$$T_g = 21 - 500 / 125 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bestäm G_t ur Tabell A för $T_{un} = 2^\circ\text{C}$ och $T_g = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket ger

$$G_t = 134100 \text{ }^\circ\text{Ch}$$

Beräkna E enligt (4.9)

$$E = 125 \cdot 134100 \text{ Wh} = 16.8 \text{ MWh}$$

Exempel 4.2

Som exempel 4.1 men gratisvärmeeffekten är fördubblad, dvs $P_g = 1000 \text{ W}$.

$$T_g = 21 - 1000 / 125 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G_t = 103100 \text{ }^\circ\text{Ch}$$

$$E = 125 \cdot 103100 \text{ Wh} = 12.9 \text{ MWh}$$

Exempel 4.3

Som exempel 4.1, men förbättrad isolering $Q_t = 58 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

$$Q = 58 + 42 = 100 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$T_g = 21 - 500 / 100 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G_t = 126100 \text{ }^\circ\text{Ch}$$

$$E = 100 \cdot 126100 \text{ Wh} = 12.6 \text{ MWh}$$

Observera att Q minskar med 0.2 mellan exempel 4.1 och 4.3, men att E minskar med 0.25. Detta beror på att om en byggnads egenskaper förändras, då förändras både Q och T_g och därmed också den klimatberoende delen G_t . Observera att gränstemperaturen T_g bara ändras om det finns ett gratisvärmestillskott.

Exempel 4.4

Beräkna hur stor del av gratisvärmestillskottet i exempel 4.1 och 4.2 som nyttiggörs för uppvärmning och ventilation. Det totala värmebehovet fås för gränstemperaturen $T_g = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ och för övrigt samma värden som i exempel 4.1.

$$G_t = 167500 \text{ }^\circ\text{Ch}$$

$$E = 125 \cdot 167500 \text{ Wh} = 20.9 \text{ MWh}$$

Utnyttjad gratisvärme är skillnaden mellan bruttovärmebehov och nettovärmebehov för Exempel 4.1 fås 4.1 MWh (20.9-16.8) och för Exempel 4.2 fås 8.0 MWh (20.9-12.9).

Den totala gratisvärmens är något högre än den utnyttjade och är avrundat 4.4 MWh för Exempel 4.1 respektive 8.8 MWh för Exempel 4.2.

Utnyttjningsgraden för gratisvärme de två fall beräknas som kvoten mellan utnyttjad gratisvärme och total gratisvärme, vilket blir 0.93 (4.1/4.4) respektive 0.91 (8.0/8.8).

Exempel 4.5

Beräkna årsvärmebehovet för ventilation för fallet tilluftstemperatur och frånluftstemperatur lika med innetemperatur 20 °C, normalårstemperatur 0 °C och ventilationsflöde 1 m³/s, verkningsgrad 0.5 och drifttid 4380 h. Gratisvärmeeffekten antas vara 2400 W över hela året.

Beräkna Q_v enligt (4.2).

$$Q_v = 1200 \cdot 1 \cdot (1 - 0.5) \cdot 0.5 = 300 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Beräkning av gränstemperaturen T_g enligt (4.7) ger:

$$T_g = 20 - 2400 / 300 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

Motsvarande gradtimmar och årsvärmebehov blir

$$G_t = 112400 \text{ }^\circ\text{Ch}$$

$$E = 300 \cdot 112400 \text{ Wh} = 33.7 \text{ MW}$$

Beräkning av årsvärmebehov för värme och ventilation enligt (4.1-9) förutsätter att ventilationen räknas om till ett medelflöde över året. Detta kan leda till stora fel. Felet är att gratisvärmens över hela året inte kan tillgodoräknas under ventilationens drifttid. En korrekt beräkning fås genom att beräkna årsvärmebehov för när ventilationen är i drift och icke i drift. Detta genomförs i Exempel 4.6 nedan.

Exempel 4.6

Dela nu upp beräkningen i drift och icke drift istället. Fallet icke drift kräver ingen värme och gratisvärmestillskottet kan heller inte utnyttjas. Ventilationens förlustfaktor Q_v beräknas för driftsfallet till

$$Q_v = 1200 \cdot 1 \cdot (1 - 0.5) = 600 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Motsvarande T_g , G_t och E blir

$$T_g = 20 - 2400 / 600 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G_t = 71900 \text{ }^\circ\text{Ch} \quad (\text{för drift halva året})$$

$$E = 600 \cdot 71900 \text{ Wh} = 43.1 \text{ MWh}$$

Skillnaden mellan de två beräkningssätten är betydande.

Exempel 4.7

Som exempel 4.5, men hela gratisvärmestillskottet endast under ventilationens drifttid, dvs $P_g = 4800 \text{ W}$.

Gränstemperaturen ändras nu för driftfallet till

$$T_g = 20 - 4800 / 600 = 12 \text{ °C}$$

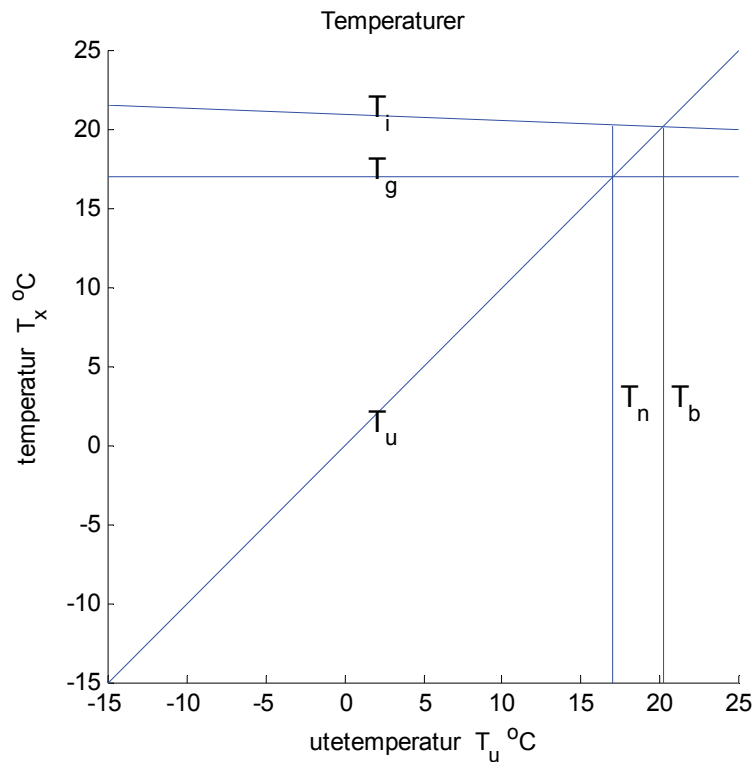
$$G_t = 56200 \text{ °C h} \quad (\text{för drift halva året})$$

$$E = 600 \cdot 56200 \text{ Wh} = 33.7 \text{ MWh}$$

Skillnaden är nu noll mellan de två fallen eftersom samma gratisvärme utnyttjas lika mycket.

Exempel 4.8

Som exempel 4.1 med uttemperaturberoende innetemperatur $T_i = 21 - 0.04 T_u$ och gratisvärmestillskott $P_g = 500 - 5 T_u$.



Beräkning sker med uttrycken (4.10-18).

$$g = 1 - (-0.04) + (-5) / 125 = 1.0$$

$$T_g = (21 - 500 / 125) / 1.0 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 125 \cdot 1 \cdot 134100 \text{ Wh} = 16.8 \text{ MWh}$$

Resultatet är lika med det i exempel 4.1, eftersom gratisvärmestillskottet och innetemperaturen passar varandra. Den normala beräkningen enligt (4.1-9) innebär att parametern $g=1$. Detta är fallet och gränstemperaturerna är lika.

Exempel 4.9

Beräkna årsvärmebehovet för en byggnad med $Q=600 \text{ W}/^\circ\text{C}$, en konstant innetemperatur $30 \text{ }^\circ\text{C}$, inget gratisvärmestillskott och normalårstemperaturen $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Högsta gränstemperatur i Tabell A är $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Använd årsmedeltemperaturen i Tabell C istället. Felet är kylbehov över $30 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket är försumbart.

$$E = 600 \cdot 8760 \cdot (30 - 6.12) \text{ Wh} = 125.5 \text{ MWh}$$

Exempel 4.10

Beräkna årskylbehovet för en byggnad med $Q=600 \text{ W}/^\circ\text{C}$, en konstant innetemperatur $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, inget gratisvärmestillskott och normalårstemperaturen $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lägsta gränstemperatur i Tabell B är $-25 \text{ }^\circ\text{C}$. Använd årsmedeltemperaturen i Tabell C istället. Felet är värmebehov under $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket är noll redan för gränstemperaturen $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ enligt gradtimmevärdena i Tabell B.

$$E = 600 \cdot 8760 \cdot (6.12 - (-30)) \text{ Wh} = 189.8 \text{ MWh}$$

Exempel 4.11

Beräkna årsvärmebehovet för en byggnad utan gratisvärmestillskott med $Q=100$ W/°C, innetemperatur 10 °C högre än utetemperaturen för att undvika kondens. Normalårstemperaturen är 6 °C.

Beräkningsuttrycken (4.10-15), vilka gäller för ett fall med utetemperaturberoende innetemperatur, kan inte användas för detta särfall med en innetemperatur lika med utetemperaturen bortsett från en konstant.

Rättfram beräkning utan användande av formler och gradtimmetabeller ger:

$$E = 100 \cdot 8760 \cdot 10 \text{ Wh} = 8.76 \text{ MWh}$$

Korrektionsfaktorn g_b blir lika med noll och gränstemperaturen T_b blir oändlig enligt uttrycken (4.14-15). Det går dock att genomföra en enkel limesanalys när korrektionsfaktor g_b går mot noll.

Gradtimmevärdet ökar linjär för stora gränstemperaturer multiplicerat med årets timmar 8760 bortsett från någon konstant k . Energiberäkningen enligt (4.12) kan för små g_b skrivas som:

$$E = Q g_b (8760 T_{i0} / g_b + k) \quad (\text{Wh})$$

Omskrivning ger och limesövergång ger:

$$E = Q 8760 T_{i0} \quad (\text{Wh})$$

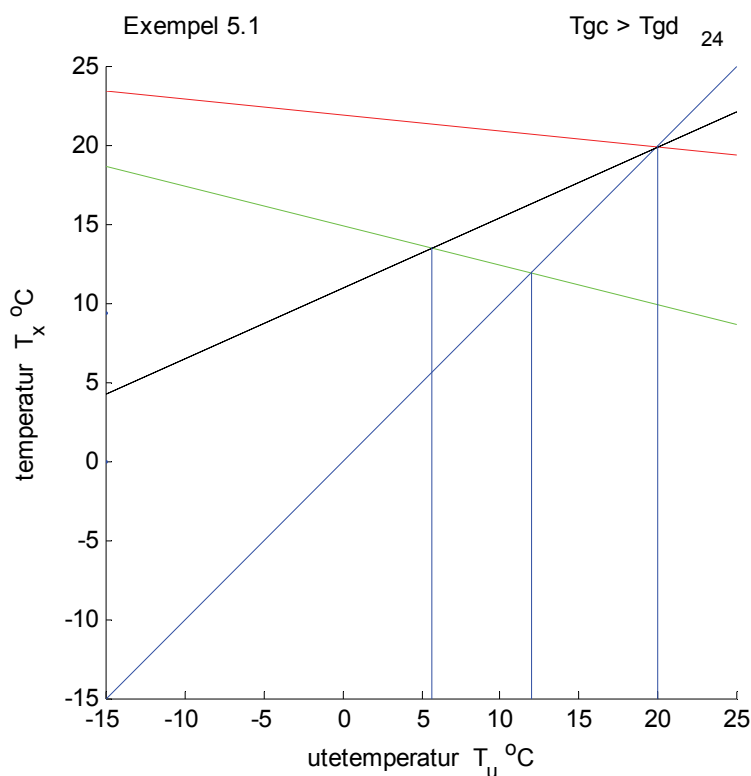
Gradtimmevärdet för det aktuella fallet blir därför:

$$G_t = 8760 T_{i0} \quad (^\circ\text{Ch})$$

5 Tillämpning på ventilationsvärme

Exempel 5.1

Beräkna årsvärmebehovet för de tre fallen *a*, *b* och *c* för $v = 0.5$, $T_{un} = 0$ °C, ständig drift med flödet $1 \text{ m}^3/\text{s}$, frånluftstemperaturen $T_f = 22 - 0.1 T_u$ och tilluftstemperaturen $T_t = 15 - 0.25 T_u$. Beräkna även bortbegränsad värmeåtervinning som gradtimmar för $T_{ab} = 0$ °C och för $v = 0.5$. Funktionsdiagram redovisas nedan och notera att återvunnen tillufttemperatur och avlufttemperatur sammanfaller, eftersom temperaturverkningsgraden är 0.5.



Fall *a* beräknas med (5.1) och faktor g_a och gränstemperatur T_{ga} enligt Tabell 5.2.

$$g_a = 1 - (-0.1) = 1.1$$

$$T_{ga} = 22 / 1.1 = 20 \text{ °C}$$

$$E_a = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.1 \cdot 177200 \text{ Wh} = 233.9 \text{ MWh}$$

Fall *b* beräknas med (5.1) och faktor g_b och gränstemperatur T_{gb} enligt Tabell 5.2.

$$g_b = 1 - (-0.25) = 1.25$$

$$T_{gb} = 15 / 1.25 = 12 \text{ °C}$$

$$E_b = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.25 \cdot 112400 \text{ Wh} = 168.6 \text{ MWh}$$

Fall *c* beräknas med (5.1) och faktor g_c och gränstemperatur T_{gc} enligt Tabell 5.2.

$$g_c = 1 - 0.5 - (-0.25) + 0.5 \cdot (-0.1) = 0.7$$

$$T_{gc} = (15 - 0.5 \cdot 22) / 0.7 = 5.7 \text{ °C}$$

$$E_c = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 70000 \text{ Wh} = 58.8 \text{ MWh}$$

Fall *d* beräknas med (5.1) och faktor g_d och gränstemperatur T_{gd} enligt Tabell 5.2.

$$g_d = 0.5 + (1 - 0.5) - 0.1 = 0.45$$

$$T_{gd} = (0 - (1 - 0.5) \cdot 22) / 0.45 = -24.4 \text{ °C}$$

Kravet $T_{gc} > T_{gd}$ är uppfyllt och fall *e* behöver inte beräknas.

$$E_d = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.45 \cdot 121 \text{ Wh} = 0.06 \text{ MWh}$$

$$E_e = 58.8 + 0.06 = 58.9 \text{ MWh}$$

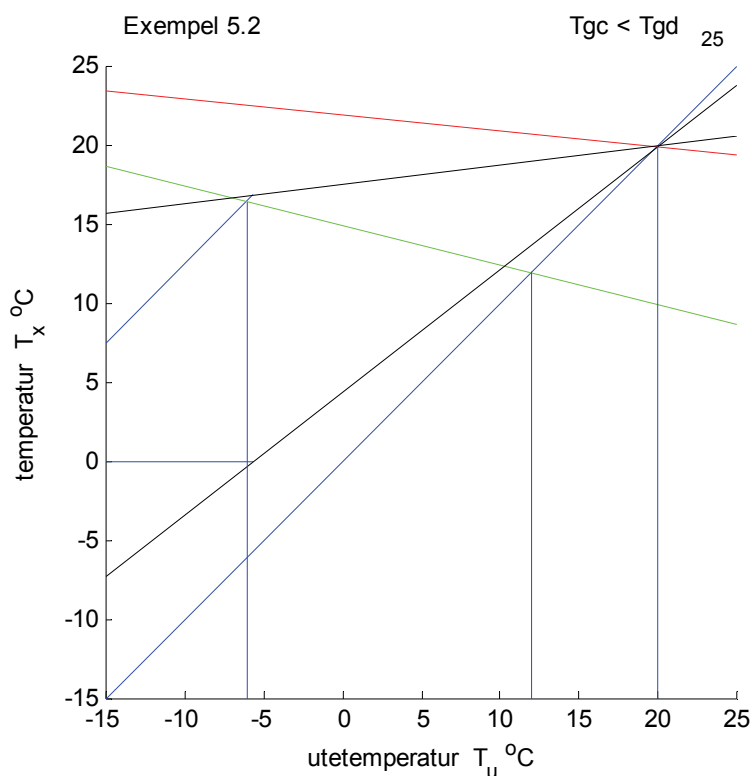
Den återvunna energin beräknas som tilluftsvärmebehovet fall *b* minskat med all tillsatsvärme fall *e*, vilket blir följande:

$$E_{\dot{a}} = 168.6 - 58.9 = 109.7 \text{ MWh}$$

Exempel 5.2

Beräkna bortbegränsad värmeåtervinning för samma fall som i exempel 5.1 för $T_{ab} = 0 \text{ °C}$ och för $\nu = 0.8$. Observera att fall *c* och *d* måste räknas om då $\nu = 0.8$.

Funktionsdiagram redovisas nedan.



Fall *c* beräknas med (5.1) och faktor g_c och gränstemperatur T_{gc} enligt Tabell 5.2.

$$g_c = 1 - 0.8 - (-0.25) + 0.8 \cdot (-0.1) = 0.37$$

$$T_{gc} = (15 - 0.8 \cdot 22) / 0.37 = -7.0 \text{ °C}$$

$$E_c = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.37 \cdot 17946 \text{ Wh} = 8.0 \text{ MWh}$$

Fall *d* beräknas med (5.1) och faktor g_d och gränstemperatur T_{gd} enligt Tabell 5.2.

$$g_d = 0.8 + (1 - 0.8) - 0.1 = 0.78$$

$$T_{gd} = (0 - (1 - 0.8) \cdot 22) / 0.78 = -5.6 \text{ °C}$$

$$E_d = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.78 \cdot 21800 \text{ Wh} = 20.4 \text{ MWh}$$

Kravet $T_{gc} > T_{gd}$ är inte uppfyllt och fall e måste beräknas, men energin för fall e beräknas ändå för jämförelsens skull.

$$E_e = 8.0 + 20.4 = 28.4 \text{ MWh} \quad (\text{felaktig})$$

$$E_d = 168.6 - 28.4 = 140.2 \text{ MWh} \quad (\text{felaktig})$$

Fall e beräknas med (5.1) och faktor g_e och gränstemperatur T_{ge} enligt Tabell 5.2.

$$g_e = 1 - 0.1 - (-0.25) = 1.15$$

$$T_{ge} = (15 - 22 + 0) / 1.15 = -6.1 \text{ °C}$$

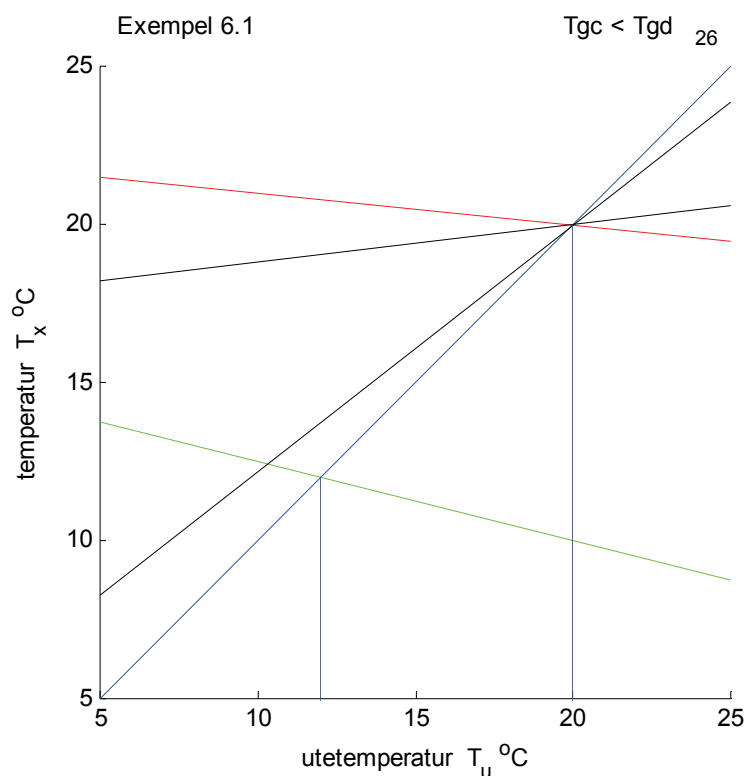
$$E_e = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.15 \cdot 20338 \text{ Wh} = 28.1 \text{ MWh}$$

Notera att skillnaden är i detta fall liten 0.3 MWh mellan den korrekta beräkningen enligt fall e och den felaktiga enligt summan av fall c och d . Notera att gränstemperaturen för fall e ligger mellan fall d och c .

6 Tillämpning på ventilationskyla

Exempel 6.1

Beräkna kylbehovet för tilluften med samma förutsättningar som i exempel 5.2, men med konstant tilluftstemperatur om 12 °C. Beräkningsfall g skall tillämpas och gradtimmar för kylbehov beräknas enligt (3.3) och (3.4).



Fall g beräknas med (5.1) och faktor g_g och gränstemperatur T_{gg} enligt Tabell 6.2.

$$g_g = 0.0 - 1 = -1.0$$

$$T_{gg} = -12 / (-1.0) = 12 \text{ °C}$$

$$G_{t-} = 8760 \cdot (12 - (-0.16)) - 112\,400 = -5878 \text{ °Ch}$$

$$E_g = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (-1.0) \cdot (-5878) \text{ Wh} = 7.1 \text{ MWh}$$

Kylbehovet kan jämföras med tilluftens värmebehov beräknat som fall b i exempel 5.1 till 168.6 MWh varav återvinningen täcker större delen och kvar blir det egentliga värmebehovet beräknats som fall e i exempel 5.2 till 28.1 MWh.

Exempel 6.2

Beräkna återvunnet kylbehovet för tilluften med samma förutsättningar som i exempel 5.2. Beräkningsfall h skall tillämpas och gradtimmar för kylbehov beräknas enligt (3.3) och (3.4).

Fall h beräknas med (5.1) och faktor g_h och gränstemperatur T_{gh} enligt Tabell 6.2.

$$g_h = 0.8 \cdot (-0.1 - 1) = -0.88$$

$$T_{gh} = -0.8 \cdot 22 / (-0.88) = 20 \text{ °C}$$

$$G_{t-} = 8760 \cdot (20 - (-0.16)) - 177\,200 = -598 \text{ °Ch}$$

$$E_h = 1200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (-0.88) \cdot (-598) \text{ Wh} = 0.6 \text{ MWh}$$

Den återvunna kylan ur frånluften är liten.

7 Drifftids- och gradtimmefunktion

Exempel 7.1

Bestäm en drifftidsfunktion enligt (7.2) och en gradtimmefunktion enligt (7.3) för normalårstemperaturen 8 °C och dess temperaturintervall. Utnyttja att normalårstemperaturen är lika mediantemperaturen, vilket ger:

$$4380 = f(8 - T_{min}) \quad (\text{h})$$

$$31100 = f(8 - T_{min})^2 / 2 \quad (\text{°Ch})$$

Division av (7.3) med (7.2) ger efter omskrivning

$$T_{min} = 8 - 2 \cdot 31100 / 4380 = -6.2\text{ °C}$$

Insättning av T_{min} i (7.2) ger $f = 308.4\text{ h/°C}$.

Ytterligare insättning av T_{min} och f i (7.1) ger $T_{max} = 22.2\text{ °C}$.

Detta resultat stämmer också med de framräknade värdena i Tabell F.1.

Exempel 7.2

Kontrollera gradtimmefunktionen från exempel 7.1 för gränstemperaturerna 5, 10, 15 och 20 °C.

$T_g\text{ °C}$	tabell °Ch	funktion °Ch	fel °C	relativt fel
5	19500	19348	-152	-0.0077
10	40300	40476	176	0.0044
15	69000	69317	317	0.0046
20	105500	105867	367	0.0035

Beräknade fel är mindre än en procent. Felet kan bli betydande när gränstemperaturen T_g ligger utanför intervallet (T_{min}, T_{max}). Den övre gränsen är för detta fall 22.20 °C .

Den förenklade drifftidsfunktionen enligt (7.2) blir helt orimlig utanför intervallet (T_{min}, T_{max}) mindre än 0 h eller större än 8760 h.

Exempel 7.3

Kontrollera gradtimmefunktionen från exempel 7.1 för gränstemperaturen 25 °C utan att ta hänsyn till definitionsintervallet för den förenklade gradtimmefunktionen.

T_g °C	tabell °Ch	funktion °Ch	fel °C	relativt fel
25	147300	150104	2804	0.019

Beräknade fel är mindre än 0.02. Felet kan bli betydande när gränstemperaturen T_g ligger utanför intervallet (T_{min}, T_{max}). Den övre gränsen är 22.20 °C.

Exempel 7.4

Kontrollera gradtimmefunktionen från exempel 7.1 för gränstemperaturen 25 °C och ta hänsyn till definitionsintervallet för den förenklade gradtimmefunktionen.

Beräkna först gradtimmevärdet för den övre gränsen 22.2 °C och därefter den resterande delen med driftid 8760 h och avsluta med att summera delarna enligt sammanställning nedan.

T_g °C	tabell °Ch	funktion °Ch	fel °C	relativt fel
22.2	123580	124372	792	0.006
25-22.2	23720	24528	808	0.034
25	147300	148900	1600	0.011

Beräknade fel är mindre än i exempel 7.3.

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 kWh/år som kan sättas lika med °Ch, eftersom specifika värmeför luft kan sättas till 1000 J/kgK.

Sammanställningen nedan visar vilka tabeller som redovisas i vilken följd och deras ursprung. Tabell A och B är en tabell som delats i två halvor. Tabellvärden för gränstemperaturer från 5 till 25 °C är hämtade från VVS-handbokens Tabell 7:30,1 och de är avrundade till hela hundratal, medan resterande tabellvärden har beräknats från varaktighetskurvor i VVS-handboken 7:28,1 och redovisas utan någon avrundning.

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	193300	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 Grattimmar 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